

# Platform Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT

Heri Andrianto<sup>1</sup>, Yohana Susanthi<sup>2</sup>, Vincent Jonathan<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro,

Fakultas Teknik,

Universitas Kristen Maranatha, Bandung

<sup>1</sup>heri.andrianto@eng.maranatha.edu, <sup>2</sup>yohana.susanthi@eng.maranatha.edu,

<sup>3</sup>2122010@eng.maranatha.edu

## Abstrak

Saat ini pemantauan penggunaan energi listrik di gedung-gedung masih dilakukan secara manual, yaitu dengan mendatangi langsung panel listrik, hal ini membutuhkan waktu dan tenaga sehingga tidak efisien. Oleh karena itu pemantauan penggunaan energi listrik berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT) menjadi sangat penting. Dalam makalah ini, kami menyajikan pengembangan *platform* sistem pemantauan penggunaan energi listrik. Meteran energi listrik berbasis IoT dikembangkan menggunakan ESP32 dan *Digital Power Meter* (DPM). DPM mengirimkan data arus, tegangan, dan daya ke ESP32 menggunakan protokol Modbus, kemudian data diterima oleh ESP32 dan selanjutnya dikirimkan ke *platform* sehingga penggunaan energi listrik dapat dipantau secara daring. Metodologi penelitian dalam makalah ini terdiri dari tiga tahap. Dimulai dengan tinjauan literatur tentang pemantauan konsumsi energi listrik dari penelitian sebelumnya, dilanjutkan dengan perancangan dan realisasi perangkat keras serta perangkat lunak, diakhiri dengan pengujian perangkat dan *platform*. Dari hasil pengujian, perangkat telah berhasil membaca data tegangan, arus, dan daya dari *digital power meter* dan mengirimkan data ke *Platform*. *Platform* telah berhasil menampilkan data tegangan, arus, dan daya pada halaman web.

**Kata kunci:** digital power meter, ESP32, IoT

## Abstract

Currently, monitoring of electrical energy usage in buildings is still done manually by directly visiting the electrical panel. This process is time-consuming and labor-intensive, making it inefficient. Therefore, monitoring of electrical energy usage based on Internet of Things (IoT) technology becomes crucial. In this paper, we present the development of an electrical energy usage monitoring system platform. An IoT-based electrical energy meter is developed using ESP32 and a Digital Power Meter (DPM). The DPM sends current, voltage, and power data to the ESP32 using the Modbus protocol. Subsequently, the data is received by the ESP32 and transmitted to the platform, allowing online monitoring of electrical energy usage. The research methodology in this paper consists of three stages, starting with a literature review on electrical energy consumption monitoring from previous studies, followed by the design and implementation of hardware and software devices, and concluding with testing the devices and the platform. From the test results, the device has successfully read voltage, current, and power data from the digital power meter and transmitted the data to the platform. The platform has successfully displayed voltage, current, and power data on the web page.

**Keywords:** digital power meter, ESP32, IoT

## 1. Pendahuluan

Energi memainkan peran penting dalam pertumbuhan ekonomi suatu negara dan kesejahteraan penduduk dunia [1]. Populasi di seluruh dunia diperkirakan akan meningkat sekitar 25% menjadi 9,8 miliar orang pada tahun 2050 [2]. Peningkatan jumlah penduduk dunia telah menyebabkan permintaan energi listrik yang terus meningkat [3][4][5], namun pasokan energi listrik terbatas. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk menggunakan energi listrik dengan efisien. Energi listrik memiliki arti penting, mengingat sebagian besar peralatan bergantung pada listrik untuk beroperasi. Tanpa listrik, banyak tugas di pabrik, kantor, dan rumah tangga akan terhambat secara signifikan [6]. Konsumen besar energi listrik, seperti gedung bertingkat dan pabrik, harus berupaya meningkatkan efisiensi energi untuk mencegah kenaikan biaya listrik [7]. Untuk menilai efisiensi pemanfaatan energi listrik, sangat penting untuk memantau dan mencatat data konsumsi energi [8]. Saat ini, pemantauan dan pencatatan penggunaan energi listrik di gedung-gedung masih merupakan proses manual yang melibatkan akses fisik ke ruangan dengan panel listrik, hal ini membutuhkan waktu dan usaha [9].

Aplikasi IoT telah luas digunakan dalam berbagai bidang dalam beberapa tahun terakhir. Terutama di sektor energi, teknologi IoT dapat digunakan untuk membuat *smart energy meter*. Penggunaan *smart energy meter* dapat berguna untuk menghemat waktu, usaha, dan uang dengan mengotomatiskan pengumpulan data secara *remote*. *Smart energy meter* perlu diimplementasikan agar pemantauan penggunaan energi listrik dapat dilakukan secara efektif dan efisien [10]. Penelitian sebelumnya tentang *smart energy meter* masih memonitor jumlah konsumsi energi listrik melalui meteran kWh analog dengan menghitung pulsa yang dihasilkan menggunakan *light-dependent resistor* (LDR) [11], namun saat ini kWh meter analog jarang ditemukan. Penelitian sebelumnya lainnya masih menggunakan sensor arus dan tegangan konvensional, seperti ACS 712, CT, PZEM-004T, ZMPT101B, dll [11]–[16], namun metode ini memerlukan upaya untuk mengembangkan perangkat, dan perangkat tersebut perlu dikalibrasi.

Dalam makalah ini, kami mengusulkan pengembangan meteran energi listrik berbasis IoT menggunakan *DPM*. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, makalah ini menggunakan *DPM* daripada sensor arus dan tegangan konvensional, sehingga lebih dapat diandalkan. Perangkat *DPM* yang dilengkapi fasilitas Modbus RS485 dapat memberikan informasi parameter listrik yang rinci [17]. *Smart meter* pada umumnya menggunakan protokol Modbus RS-485 untuk komunikasi lapisan fisik [18][19]. Keunggulan penggunaan *DPM* adalah kesesuaian dengan standar industri dan kemudahan penggunaan. Data parameter listrik dapat langsung diambil dari perangkat *DPM* menggunakan protokol Modbus RS-485. Selanjutnya, data ini dapat dikirimkan ke *platform* sistem layanan agar pengguna dapat memantau penggunaan energi listrik secara daring.

Makalah ini bertujuan untuk menyajikan pengembangan meteran energi listrik berbasis IoT dan *platform* pemantauan energi listrik berbasis *Service Oriented Architecture* (SOA). Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau data penggunaan energi listrik yang dicatat oleh meteran energi listrik melalui aplikasi web. Meteran energi listrik ini dibangun menggunakan ESP32 dan *DPM EasyLogic PM2220* yang dilengkapi dengan kemampuan Modbus RS485. *Dashboard* aplikasi web digunakan untuk menampilkan informasi tentang arus, tegangan, dan daya secara *real-time*. Aplikasi web dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP dan database MySQL.

## 2. Kajian Pustaka

Penelitian untuk mengembangkan meteran energi listrik telah dilakukan dengan berbagai macam cara, perangkat keras dan perangkat lunak. Pada bab ini disajikan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti. Priya dkk [11] telah mengembangkan sistem meteran energi berbasis IoT untuk memantau penggunaan energi secara *real-time* menggunakan Beaglebone black dan LDR. LDR digunakan untuk menghitung pulsa yang dihasilkan oleh kWh meter analog, kemudian Beaglebone mengirimkan data ke Firebase Real-time Database. Rabbani dkk [12] telah mengembangkan sistem meteran pintar menggunakan Arduino yang terhubung ke database Firebase. Arduino digunakan untuk memantau penggunaan energi dan mengirimkan data ke database Firebase. Aplikasi Android dibangun menggunakan Android Studio, memungkinkan konsumen dan utilitas untuk melihat konsumsi energi harian. Perangkat meteran dikembangkan menggunakan komponen-komponen seperti Arduino Uno, sensor arus ACS 712, modul sensor tegangan, dan NodeMCU. Furqon dkk [13] telah mengembangkan suatu sistem yang digunakan untuk mengawasi pemakaian daya listrik oleh penyewa kos, sekaligus menghitung jumlah energi yang digunakan dan menentukan tarif yang berlaku. Sistem ini dirancang dengan menggunakan modul NodeMCU, sensor PZEM-004T, dan *relay*. Database yang digunakan untuk menyimpan data daya listrik adalah Realtime Database Firebase, yang dapat diakses oleh perangkat Android melalui internet. Gopika dkk [14] telah mengembangkan sistem manajemen energi pintar untuk manajemen beban dan pemantauan energi Listrik menggunakan *relay*, sensor Passive Infrared (PIR), modul sensor PZEM-004T, dan NodeMCU. Sensor PIR digunakan untuk mendeteksi keberadaan manusia dalam suatu ruangan, kemudian NodeMCU berfungsi untuk mengendalikan pemberian energi listrik pada ruangan berdasarkan data dari sensor PIR. Munoz dkk [15] telah mengembangkan *smart meter* berbasis ESP32 dengan kemampuan kontrol beban listrik. *Smart meter* ini berfungsi sebagai komponen dari sistem manajemen energi rumah, memberikan data tentang konsumsi energi, arus, tegangan *root mean square* (rms), daya reaktif, aktif, dan semu, energi reaktif, dan faktor daya. Perangkat *smart meter* dikembangkan menggunakan beberapa komponen yaitu CST-1020, sensor tegangan, ADE7758, ESP32 dan *relay*. Jose dkk [16] telah mengembangkan *smart meter* berbasis IoT untuk memperkirakan konsumsi listrik *real-time* dengan mengukur aliran daya melalui saluran, membantu menentukan konsumsi daya di berbagai ruangan. Perangkat *smart meter* dibangun menggunakan NodeMCU, Current Transformer (CT), Voltage Transformer, dan PIC16F876 *Analog to Digital Converter IC*. Aplikasi web dikembangkan menggunakan React.js sebagai *frontend* dan node.js sebagai *backend*. Database yang digunakan yaitu Firebase dan MongoDB.

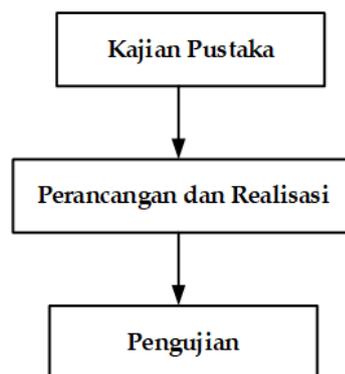
Pada penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, penelitian-penelitian tersebut umumnya menggunakan sensor arus dan tegangan konvensional seperti LDR, ACS 712, PZEM-004T, CT, CST-1020, dan ADE7758. Namun, pendekatan ini memerlukan upaya yang signifikan dalam pengembangan perangkat dan membutuhkan kalibrasi secara teratur. Pada makalah ini, meteran energi listrik berbasis IoT yang dikembangkan berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Meteran energi listrik berbasis IoT yang dikembangkan pada makalah ini menggunakan *DPM EasyLogic PM2220* yang terhubung dengan ESP32 melalui *converter TTL to RS485*. Meteran energi listrik berbasis IoT yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan data-data parameter listrik seperti arus, tegangan, daya dan parameter listrik lainnya yang didapat secara langsung dari *DPM EasyLogic PM2220* menggunakan protokol Modbus RTU.

Modbus adalah protokol komunikasi serial terbuka yang digunakan untuk mengirimkan informasi melalui jalur serial antar perangkat elektronik. Awalnya diterbitkan oleh Modicon (sekarang Schneider Electric) pada tahun 1979. Ada beberapa versi protokol Modbus seperti Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus TCP dan Modbus Plus. Beberapa versi protokol Modbus tersebut didasarkan pada arsitektur pengontrol-periferal (*master-slave*) dan komunikasi antar *node* dicapai dengan mengirim *request* dan membaca pesan jenis *respons*. Modbus berkomunikasi melalui beberapa jenis media fisik seperti RS-232/RS-485 atau Ethernet. Awalnya antarmuka Modbus berjalan pada komunikasi serial RS-232 tetapi sebagian besar implementasi Modbus selanjutnya menggunakan RS-485 karena memungkinkan jarak yang lebih jauh, kecepatan lebih tinggi, dan memungkinkan komunikasi beberapa perangkat dalam satu jaringan *multi-drop* [20].

Setiap pesan Modbus memiliki struktur yang sama, terdiri dari empat elemen dasar yang ada di setiap pesan yaitu *device address*, *function code*, *data*, dan *CRC Error Check*. Urutan dari elemen-elemen ini sama untuk semua pesan, yang kemudian memungkinkan untuk mudah menguraikan konten. Pengendali selalu memulai komunikasi. Ketika pesan dikirim, periferal menginterpretasikan pesan dan memberikan *respons*. Modbus mengirimkan fungsi-fungsi yang mengkomunikasikan instruksi baca dan tulis ke register memori internal perangkat untuk mengonfigurasi, memantau, dan mengontrol input dan output perangkat. Perangkat Modbus umumnya menyertakan peta register yang menguraikan tempat di mana data input dan output konfigurasi dapat ditulis dan dibaca [20].

### 3. Metode Penelitian

Metode penelitian pada makalah ini terdiri dari tiga tahap: tahap pertama berupa kajian pustaka tentang pengembangan meteran energi listrik berbasis IoT dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, tahap kedua berupa perancangan dan realisasi perangkat keras dan perangkat lunak dari meteran energi listrik berbasis IoT serta *platform* layanan web pemantauan penggunaan energi listrik, dan tahap ketiga pengujian dari meteran energi listrik berbasis IoT dan *platform* layanan web. Gambar 1 memperlihatkan metodologi penelitian pada makalah ini.

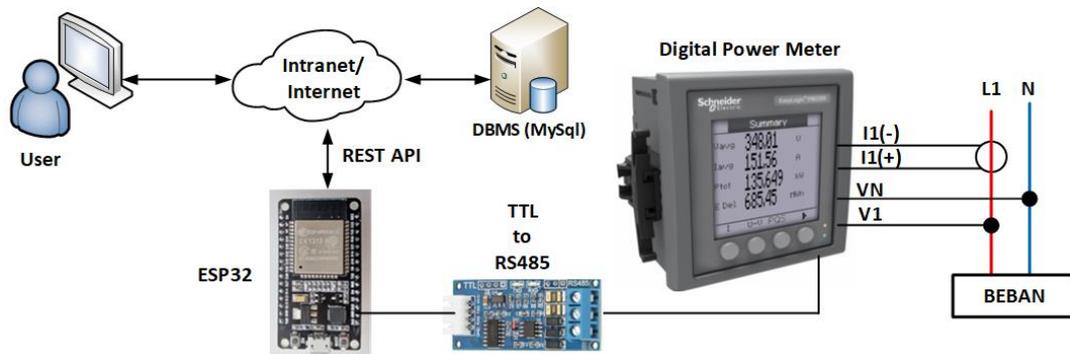


Gambar 1. Metode Penelitian

Tahap pertama berupa kajian pustaka tentang pengembangan meteran energi listrik berbasis IoT telah dibahas pada bagian bab kajian pustaka. Tahap kedua berupa perancangan perangkat keras dan perangkat lunak meteran energi listrik berbasis IoT. Meteran energi listrik berbasis IoT yang dikembangkan pada makalah ini menggunakan beberapa komponen yang terdiri dari ESP32, modul *converter* TTL ke RS485, dan

perangkat *DPM EasyLogic PM2220* yang dilengkapi dengan fasilitas antarmuka Modbus RS485. *DPM EasyLogic PM2220* digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan daya. Modul *converter* TTL ke RS485 berfungsi sebagai modul *converter* level tegangan TTL ke RS485 dan sebaliknya, yaitu menterjemahkan sinyal dari TTL (ESP32) ke antarmuka RS485 dan sebaliknya. ESP32 membaca data parameter listrik (tegangan, arus, dan daya) dan mengirimkannya ke *platform* layanan web.

Pada *platform*, terdapat layanan web yang bertanggung jawab atas penerimaan data, penyimpanan data, pengolahan data, dan tampilan data parameter listrik (arus, tegangan, dan daya) ke halaman web. Aplikasi web memungkinkan pengguna untuk memantau penggunaan energi Listrik secara *real time*. Diagram blok dari meteran energi listrik berbasis IoT diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Platform Layanan Pemantauan Energi Listrik Berbasis IoT

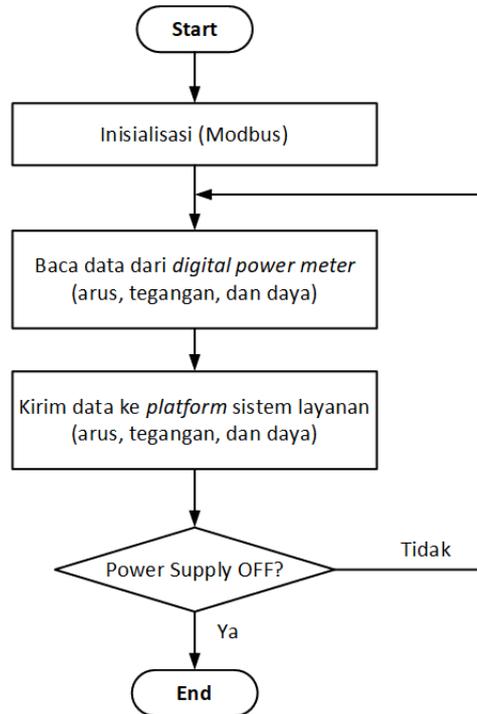
Realisasi meteran energi listrik berbasis IoT menggunakan *DPM EasyLogic PM2220* dan ESP32 diperlihatkan pada Gambar 3. Beban listrik yang digunakan pada saat pengujian yaitu monitor LED TV, printer, handphone, solder, dan setrika listrik.



Gambar 3. Realisasi Meteran Energi Listrik Berbasis IoT

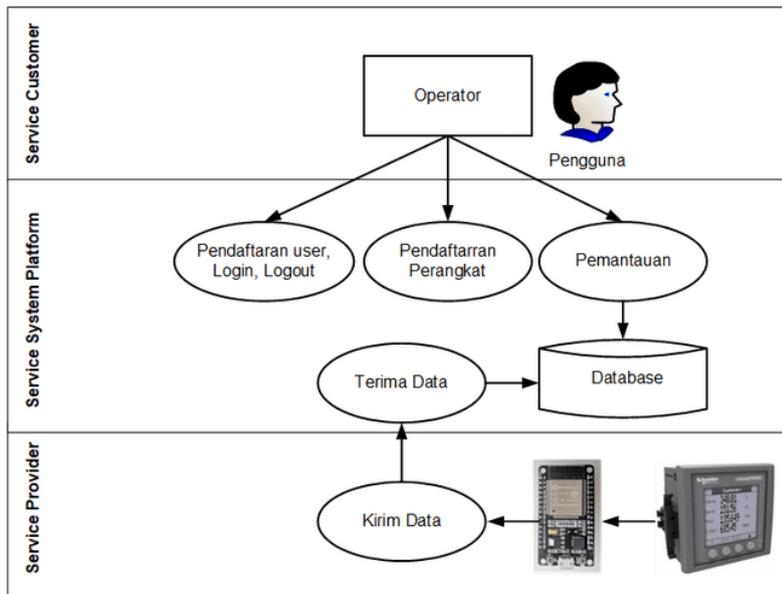
Proses yang terdapat dalam ESP32 terdiri dari inisialisasi komunikasi modbus, membaca data (arus, tegangan, dan daya) dari *DPM*, dan mengirimkan data ke *platform*

layanan web menggunakan *REpresentational State Transfer Application Programming Interface* (REST API). Diagram alir program utama di ESP32 diperlihatkan pada Gambar 4.



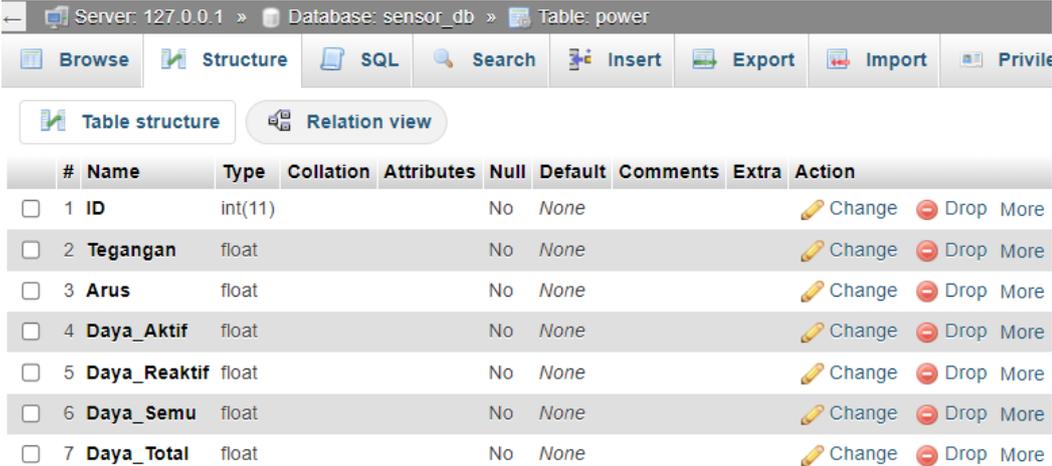
Gambar 4. Diagram Alir Program Utama di ESP32

*Platform* sistem layanan pemantauan energi listrik dirancang menggunakan SOA. *Platform* sistem layanan ini mencakup pengelolaan pengguna, terima data, dan pemantauan. *Platform* sistem layanan pemantauan energi listrik diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Platform Sistem Layanan Pemantauan Energi Listrik

*Database MySql* digunakan pada *platform* untuk menyimpan data tegangan (V), arus (A), daya aktif (kW), daya reaktif (VAr), daya semu (VA), dan daya total (Wh). Bahasa pemrograman web yang digunakan untuk membangun *platform* sistem layanan yaitu php. Gambar 6 memperlihatkan struktur tabel dengan nama power pada database dengan nama sensor\_db. Struktur tabel power terdiri dari ID (int) yang digunakan untuk ID meteran energi listrik berbasis IoT, Tegangan (float), Arus (float), Daya\_Aktif (float), Daya\_Reaktif (float), Daya\_Semu (float), dan Daya\_Total (float) yang digunakan untuk menyimpan daya aktif total yang telah digunakan.

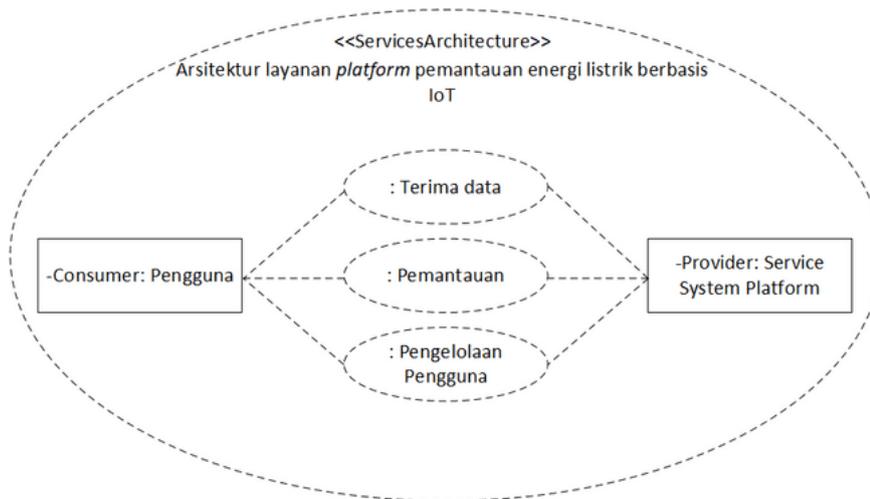


#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	1 ID	int(11)			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	2 Tegangan	float			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	3 Arus	float			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	4 Daya_Aktif	float			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	5 Daya_Reaktif	float			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	6 Daya_Semu	float			No	None			Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	7 Daya_Total	float			No	None			Change  Drop  More

Gambar 6. Struktur Tabel Power pada Database sensor\_db

Layanan web dirancang sebagai modul, masing-masing melayani fungsi tertentu. Beberapa layanan utama yang dikembangkan pada *platform* layanan web yaitu layanan penerimaan data untuk menerima data dari perangkat, dan layanan pemantauan untuk menampilkan data ke halaman web. Layanan web menggunakan protokol RESTful untuk berinteraksi dengan API yang ditentukan, dan JSON digunakan untuk memformat data. Data dikirimkan dari perangkat ke *platform* menggunakan metoda POST. Perangkat mengirimkan data ke *platform* layanan web dengan menggunakan url yang sudah ditentukan yaitu: [http://192.168.243.167/Platform/update\\_data\\_id100.php](http://192.168.243.167/Platform/update_data_id100.php). Pada halaman [update\\_data\\_id100.php](http://192.168.243.167/Platform/update_data_id100.php) terdapat kode program php yang berfungsi untuk menerima data dan memasukan data ke tabel *power* di database *sensor\_db*. Pemantauan penggunaan energi listrik dapat dilakukan dengan menggunakan web browser dan mengakses url <http://192.168.243.167/Platform/index.php>.

Arsitektur layanan adalah deskripsi komprehensif tentang bagaimana peserta berkolaborasi untuk menyediakan dan menggunakan layanan yang ditentukan dalam kontrak layanan. Arsitektur layanan *platform* sistem pemantauan penggunaan energi listrik berbasis IoT digambarkan pada Gambar 7. Dalam arsitektur layanan terlihat bahwa ada tiga layanan utama yang terdapat pada *platform* sistem pemantauan penggunaan energi listrik yaitu layanan terima data untuk menerima data dari perangkat dan menyimpan data ke database, layanan pemantauan untuk menampilkan data pada hamanan web, serta layanan pengelolaan pengguna. Dalam arsitektur layanan terlihat bahwa pengguna sebagai *customer*, dan *platform* sebagai provider.



Gambar 7. Arsitektur Layanan Platform Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT

#### 4. Hasil dan Diskusi

Spesifikasi DPM EasyLogic PM2220 yang digunakan pada pengujian yaitu akurasi pengukuran, daya semu ( $\pm 1\%$ ), energi reaktif ( $\pm 1\%$ ), daya aktif ( $\pm 1\%$ ), tegangan ( $\pm 0.5\%$ ), faktor daya ( $\pm 0.01$ ), arus ( $\pm 0.5\%$ ), frekuensi ( $\pm 0.05\%$ ). Pengukuran arus 5-6000 mA, tegangan pengukuran, 35-480 V AC 50/60 Hz antara fase, 20-277 V AC 50/60 Hz antara fase dan netral. Informasi yang ditampilkan, arus *demand* (nilai sebelumnya) arus *demand* (nilai saat ini), daya *demand* (nilai sebelumnya), daya *demand* (nilai saat ini), tegangan, arus, frekuensi, konsumsi energi, distorsi harmonik, faktor daya, daya aktif, daya semu, dan daya reaktif.

Pengujian dari perangkat meteran energi listrik berbasis IoT dilakukan dengan menggunakan berbagai beban listrik. Nilai hasil pengukuran berupa nilai tegangan rms, arus rms, daya aktif/nyata, daya reaktif, dan daya semu yang ditampilkan pada DPM dan ESP32 melalui serial monitor Arduino kemudian dicatat. ESP32 mendapatkan data tegangan rms, arus rms, daya aktif, daya reaktif, dan daya semu dari DPM, sehingga nilai tegangan rms, arus rms, daya aktif, daya reaktif, dan daya semu selalu sama dengan yang ditampilkan pada DPM. Skenario pengujian terdiri dari 2 (dua) skenario yang dilakukan pada waktu yang berbeda, scenario pertama dilakukan pengukuran tegangan rms, arus rms dan daya aktif, hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1. Skenario kedua dilakukan pengukuran daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) baik dengan beban dan maupun tanpa beban, hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1 memperlihatkan hasil pengukuran tegangan rms, arus rms, daya aktif (P) baik dengan beban dan maupun tanpa beban serta faktor daya ( $\cos \varphi$ ) berbagai peralatan listrik hasil perhitungan menggunakan persamaan (1).

$$\cos \varphi = \frac{P}{V_{rms} \times I_{rms}} \quad (1)$$

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengukuran daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) baik dengan beban dan maupun tanpa beban serta perhitungan daya aktif (P) menggunakan persamaan (2).

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad (2)$$

Tabel 1 dan Tabel 2 memperlihatkan bahwa ketika tidak ada beban, maka nilai arus, daya aktif/nyata, daya reaktif dan daya semu semuanya bernilai 0 (nol). Namun, ketika ada beban, maka DPM dan serial monitor Arduino memperlihatkan suatu nilai (arus, daya aktif/nyata, daya reaktif, dan daya semu). Tabel 1 dan Tabel 2 memperlihatkan bahwa daya aktif/nyata dari semua beban listrik bernilai positif, hal ini menunjukkan bahwa daya mengalir ke arah beban listrik dan tidak ada aliran balik ke arah pembangkit. Nilai daya aktif/nyata terbesar yaitu pada beban listrik berupa setrika listrik, yaitu sebesar 0.41398 kW dengan faktor daya 0.99726. Sedangkan nilai daya aktif/nyata terkecil yaitu pada beban listrik berupa laptop, yaitu sebesar 0.00020 kW dengan faktor daya  $8.6 \times 10^{-6}$ . *Error* (selisih) antara hasil pengukuran daya aktif (P) dan hasil perhitungan daya aktif (P) menggunakan persamaan (2) berkisar antara 0 sampai dengan 0.00028. Tabel 2 memperlihatkan semua beban listrik memiliki daya reaktif, hal ini menunjukkan bahwa tidak ada beban listrik yang bersifat resistif murni.

Pengujian *platform* pemantauan penggunaan energi listrik dilakukan dengan terlebih dahulu mengaktifkan perangkat meteran energi listrik berbasis IoT, kemudian perangkat terhubung ke jaringan internet/intranet melalui koneksi WiFi. Selanjutnya ESP32 membaca data (tegangan, arus, dan daya aktif/nyata, daya reaktif, daya semu serta total daya aktif/nyata) dari DPM lalu mengirimkan data tersebut ke server (*platform*). Pada server terdapat layanan web yang berguna untuk menerima data dan memasukan data ke database MySQL. Data kemudian diambil dari database dan ditampilkan ke halaman web.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan rms, Arus rms dan Daya Aktif dengan Beban dan Tanpa Beban

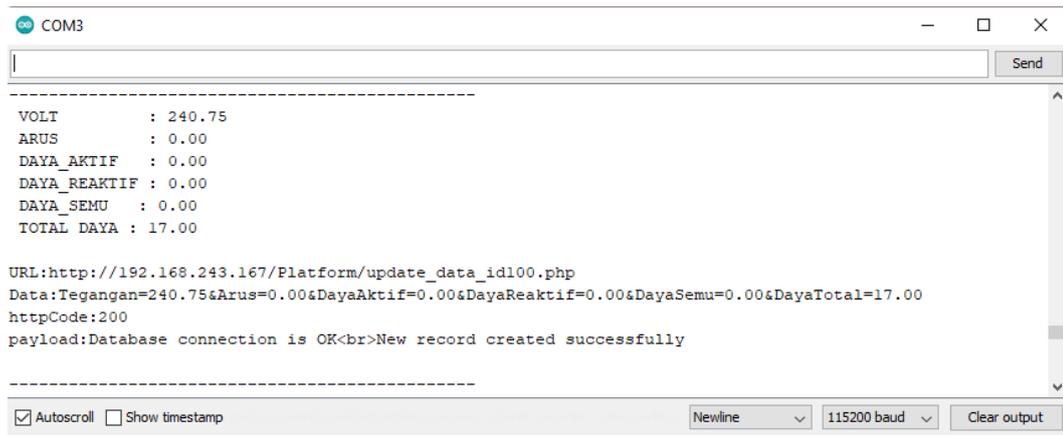
Beban Listrik	Digital Power Meter dan ESP32			Faktor Daya $\text{Cos } \varphi = P / (V_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}})$
	Tegangan rms ( $V_{\text{rms}}$ ) (Volt)	Arus rms ( $I_{\text{rms}}$ ) (mA)	Daya Aktif (P) (kW)	
Tanpa Beban	240.85	0	0	-
Tanpa Beban	240.99	0	0	-
Tanpa Beban	241.01	0	0	-
Laptop	241.23	9.5259	0.00021	$9.1 \times 10^{-6}$
Laptop	241.25	9.5918	0.00020	$8.6 \times 10^{-6}$
Laptop	241.20	9.6246	0.00020	$8.6 \times 10^{-6}$
Printer	239.89	26.039	0.00170	0.00027
Printer	239.84	25.489	0.00165	0.00027
Printer	240.12	25.624	0.00166	0.00027
Handphone	240.19	66.945	0.00694	0.00043
Handphone	240.61	70.037	0.00741	0.00044
Handphone	240.62	66.860	0.00701	0.00044
Solder 30 Watt	241.08	112.72	0.02708	0.99652
Solder 30 Watt	241.03	112.64	0.02705	0.99633
Solder 30 Watt	241.04	112.71	0.02707	0.99641
Monitor LED TV	239.52	233.94	0.02718	0.48507
Monitor LED TV	240.34	233.04	0.02688	0.47992
Monitor LED TV	240.42	233.84	0.02705	0.48115
Komputer	240.47	655.19	0.09290	0.58964
Komputer	240.41	655.07	0.09288	0.58977
Komputer	240.50	654.29	0.0991	0.62978
Setrika 350 Watt	237.89	1745	0.41398	0.99726
Setrika 350 Watt	236.76	1736	0.40993	0.99736
Setrika 350 Watt	236.85	1737	0.41022	0.99711

Tabel 2. Hasil Pengukuran Daya Aktif, Daya Reaktif dan Daya Semu dengan Beban dan Tanpa Beban

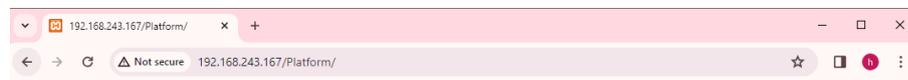
Beban Listrik	Hasil Pengukuran Digital Power Meter dan ESP32			Daya aktif (P) (kW) $P = \sqrt{S^2 - Q^2}$	Error  pengukuran dan perhitungan Daya Aktif (P)
	Daya Aktif (P) (kW)	Daya Reaktif (Q) (kVAR)	Daya Semu (S) (kVA)		
Tanpa Beban	0	0	0	0	0
Tanpa Beban	0	0	0	0	0
Tanpa Beban	0	0	0	0	0
Laptop	0.00019	-0.0022	0.00223	0.00036	0.00017
Laptop	0.00018	-0.0022	0.00222	0.00029	0.00011
Laptop	0.00019	-0.0022	0.00225	0.00047	0.00028
Printer	0.00147	-0.0054	0.00563	0.00159	0.00012
Printer	0.00148	-0.0055	0.00570	0.00149	0.00001
Printer	0.00148	-0.0054	0.00566	0.00169	0.00021
Handphone	0.00520	0.01154	0.01266	0.0052	0
Handphone	0.00596	0.01287	0.01418	0.00595	0.00001
Handphone	0.00492	0.01106	0.01210	0.00491	0.00001
Solder 30 Watt	0.02744	0.00221	0.02753	0.02744	0
Solder 30 Watt	0.02744	0.00222	0.02753	0.02744	0
Solder 30 Watt	0.02724	0.00233	0.02734	0.02724	0
Monitor LED TV	0.02718	0.04898	0.05602	0.02719	0.00001
Monitor LED TV	0.02720	0.04901	0.05605	0.0272	0
Monitor LED TV	0.02708	0.04922	0.05618	0.02708	0
Komputer	0.09120	0.12481	0.15458	0.0912	0
Komputer	0.09141	0.12431	0.15430	0.09141	0
Komputer	0.09154	0.12422	0.15431	0.09155	0.00001
Setrika 350 Watt	0.41326	0.03297	0.41458	0.41327	0.00001
Setrika 350 Watt	0.41313	0.03285	0.41443	0.41313	0
Setrika 350 Watt	0.41295	0.03266	0.41424	0.41295	0

Pengujian pertama dilakukan ketika tidak ada beban listrik. Gambar 8 memperlihatkan nilai tegangan rms (V), arus rms (A), daya aktif (kW), daya reaktif (VAR), daya semu (VA) dan daya aktif total (Wh) yang ditampilkan pada serial monitor arduino ketika tidak ada beban listrik. Gambar 9 memperlihatkan nilai tegangan rms (V), arus rms (A), daya aktif (kW), daya reaktif (VAR), daya semu (VA) dan daya aktif total (Wh) yang ditampilkan pada halaman web ketika tidak ada beban listrik. Gambar 8 dan Gambar 9 memperlihatkan bahwa ketika tidak ada beban, maka nilai arus, daya aktif, daya reaktif, dan daya semu bernilai 0 (nol).

Pengujian kedua dilakukan ketika ada beban listrik berupa monitor TV LED. Gambar 10 memperlihatkan nilai tegangan rms (V), arus rms (A), daya aktif (kW), daya reaktif (VAR), daya semu (VA) dan daya aktif total (Wh) yang ditampilkan pada serial monitor arduino ketika ada beban Listrik berupa monitor TV LED. Gambar 11 memperlihatkan nilai tegangan rms (V), arus rms (A), daya aktif (kW), daya reaktif (VAR), daya semu (VA) dan daya aktif total (Wh) yang ditampilkan pada halaman web ketika ada beban listrik berupa monitor TV LED. Gambar 10 dan Gambar 11 memperlihatkan bahwa ketika ada beban berupa monitor TV LED, maka nilai arus rms, daya aktif, daya reaktif, dan daya semu memiliki suatu nilai yaitu nilai tegangan rms = 241.73 V, arus rms = 0.23 A, daya aktif = 0.03 kW, daya reaktif = 0.05 kVAR, dan daya semu = 0.06 VA.



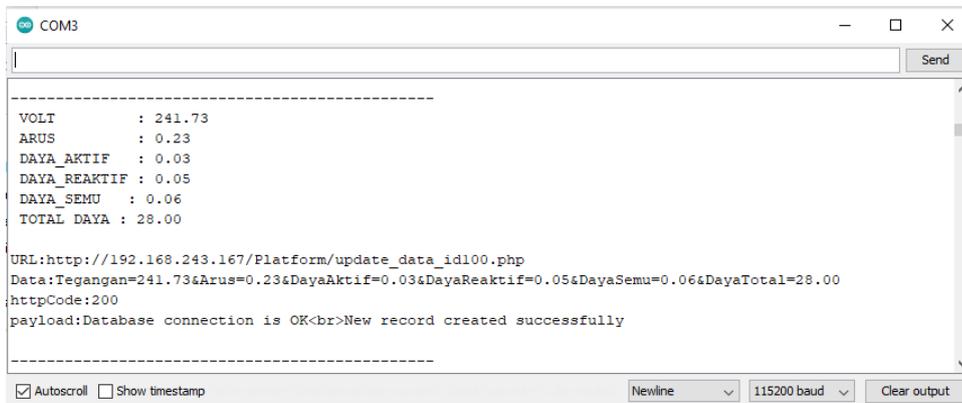
Gambar 8. Nilai Tegangan rms (V), Arus rms (A), Daya Aktif (kW), Daya Reaktif (VAR), Daya Semu (VA) dan Daya Aktif Total (Wh) Pada Serial Monitor Arduino Ketika Tidak Ada Beban Listrik



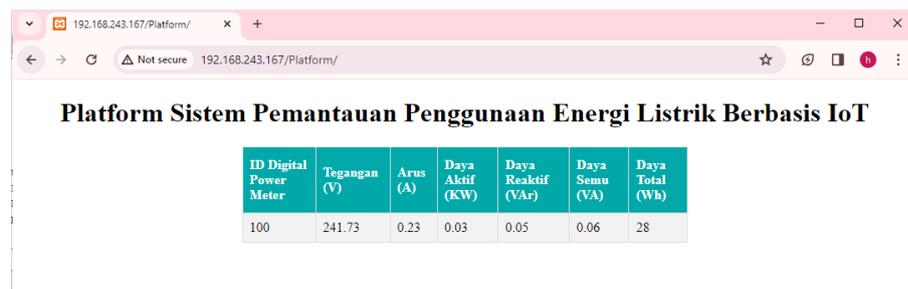
### Platform Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT

ID Digital Power Meter	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Aktif (KW)	Daya Reaktif (VAr)	Daya Semu (VA)	Daya Total (Wh)
100	240.75	0	0	0	0	17

Gambar 9. Nilai Tegangan rms (V), Arus rms (A), Daya Aktif (kW), Daya Reaktif (VAR), Daya Semu (VA) dan Daya Aktif Total (Wh) Pada Halaman Web Ketika Tidak Ada Beban Listrik



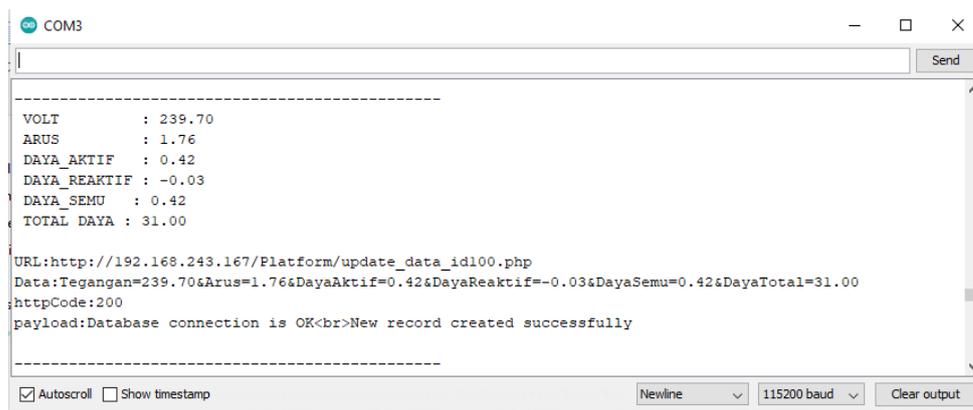
Gambar 10. Nilai Tegangan rms (V), Arus rms (A), Daya Aktif (kW), Daya Reaktif (VAR), Daya Semu (VA) dan Daya Aktif Total (Wh) Pada Serial Monitor Arduino Ketika Ada Beban Listrik Berupa Monitor TV LED



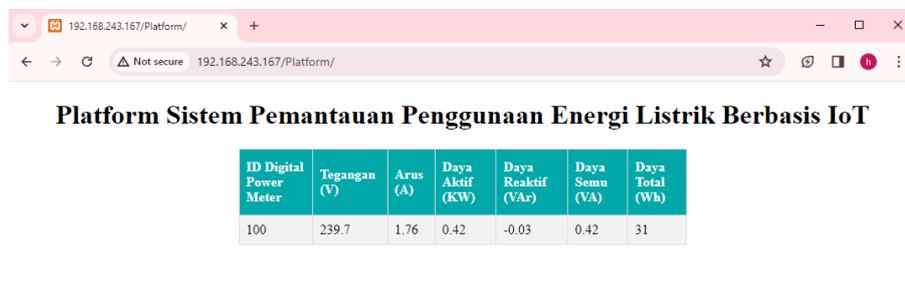
ID Digital Power Meter	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Aktif (KW)	Daya Reaktif (VAr)	Daya Semu (VA)	Daya Total (Wh)
100	241.73	0.23	0.03	0.05	0.06	28

Gambar 11. Nilai Tegangan rms (V), Arus rms(A), Daya Aktif (kW), Daya Reaktif (VAR), Daya Semu (VA) dan Daya Aktif Total (Wh) pada Halaman Web Ketika Ada Beban Listrik Berupa Monitor TV LED

Pengujian ketiga dilakukan ketika ada beban listrik berupa setrika listrik 350 Watt. Gambar 12 memperlihatkan nilai tegangan rms (V), arus rms (A), daya aktif (kW), daya reaktif (VAR), daya semu (VA) dan daya aktif total (Wh) yang ditampilkan pada serial monitor arduino ketika ada beban listrik berupa setrika Listrik 350 Watt. Gambar 13 memperlihatkan nilai tegangan rms (V), arus rms (A), daya aktif (kW), daya reaktif (VAR), daya semu (VA) dan daya aktif total (Wh) yang ditampilkan pada halaman web ketika ada beban listrik berupa setrika listrik 350 Watt. Gambar 12 dan Gambar 13 memperlihatkan bahwa ketika ada beban berupa setrika listrik 350 Watt, maka nilai tegangan rms = 239.70 V, arus rms = 1.76 A, daya aktif = 0.42 kW, daya reaktif = -0.03 kVAR, dan daya semu = 0.42 VA.



Gambar 12. Nilai Tegangan rms (V), Arus rms (A), Daya Aktif (kW), Daya Reaktif (VAR), Daya Semu (VA) dan Daya Aktif Total (Wh) Pada Serial Monitor Arduino Ketika Ada Beban Listrik Berupa Setrika Listrik 350 Watt



Gambar 13. Nilai Tegangan rms (V), Arus rms (A), Daya Aktif (kW), Daya Reaktif (VAR), Daya Semu (VA) dan Daya Aktif Total (Wh) Pada Halaman Web Ketika Ada Beban Listrik Berupa Setrika Listrik 350 Watt

Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa perangkat meteran energi listrik berbasis IoT telah berhasil mendapatkan data (tegangan rms (V), arus rms (A), daya aktif (kW), daya reaktif (VAR), daya semu (VA) dan daya aktif total (Wh)) dari DPM *EasyLogic PM2220* dan telah berhasil mengirimkan data ke *platform*. *Platform* telah berhasil menerima data, menyimpan data ke database, serta menampilkan data ke halaman web.

## 5. Kesimpulan

Perangkat meteran energi listrik berbasis IoT untuk memantau konsumsi energi listrik telah berhasil dikembangkan menggunakan ESP32 dan *DPM EasyLogic PM2220*. *Platform* sistem pemantauan penggunaan energi listrik berbasis IoT telah berhasil dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman php dan database MySQL. Berdasarkan hasil pengujian, perangkat meteran energi listrik berbasis IoT telah berhasil

membaca data tegangan rms, arus rms, daya aktif, daya reaktif, daya semu dan daya aktif total dari *DPM EasyLogic PM2220* dan telah berhasil mengirimkannya ke *platform*. *Platform* sistem pemantauan penggunaan energi listrik berbasis IoT telah berhasil menerima data tegangan rms, arus rms, daya aktif, daya reaktif, daya semu dan daya aktif total dari perangkat meteran energi listrik berbasis IoT (ESP32), telah berhasil juga menyimpan data ke dalam database MySQL dan menampilkan data pada halaman web.

## Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Kristen Maranatha atas dukungan finansial yang telah diberikan.

## Daftar Pustaka

- [1] T. Karthick, S. Charles Raja, J. J. D. Nesamalar, and K. Chandrasekaran, "Design of IoT based smart compact energy meter for monitoring and controlling the usage of energy and power quality issues with demand side management for a commercial building," *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 26, no. 100454, pp. 1–15, 2021.
- [2] H. Andrianto, Suhardi, and A. Faizal, "Future Research on Smart Farming Platforms," in *2022 International Conference on Information Technology Systems and Innovation, ICITSI 2022 - Proceedings*, pp. 358–362, 2022.
- [3] M. U. Saleem, M. R. Usman, and M. Shakir, "Design, Implementation, and Deployment of an IoT Based Smart Energy Management System," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 59649–59664, 2021.
- [4] I. B. Purwania, I. N. S. Kumara, and M. Sudarma, "Application of IoT-Based System for Monitoring Energy Consumption," *Int. J. Eng. Emerg. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 81–93, 2020.
- [5] S. Muralidhara, N. Hegde, and R. P. Math, "An internet of things-based smart energy meter for monitoring device-level consumption of energy," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 87, no. 106772, pp. 1–10, 2020.
- [6] H. Andrianto, Y. Susanthi, V. Jonathan, and N. Ismail, "Design of IoT-Based Electrical Energy Meter," in *2023 IEEE 9th International Conference on Computing, Engineering and Design, ICCED 2023*, pp. 1–4, 2023.
- [7] A. O. Salau, L. Chettri, T. K. Bhutia, and M. Lepcha, "IoT Based Smart Digital Electric Meter for Home Appliances," in *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, pp. 708–713, 2020.
- [8] M. Manfaluthy, A. Sunardi, S. Wilyanti, A. Jaenul, and E. Mulyana, "Design a Monitoring System of a Single-Phase Electricity Meter Based on the Internet of Things," *Spektra J. Fis. dan Apl.*, vol. 7, no. 3, pp. 113–126, 2022.
- [9] D. Alulema, M. Zapata, and M. A. Zapata, "An IoT-based remote monitoring system for electrical power consumption via web-application," in *2018 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, pp. 193–197, 2018.
- [10] F. M. Dahunsi, S. O. Eniola, A. A. Ponnle, O. A. Agbolade, C. N. Udekwe, and A. O. Melodi, "A Review of Smart Energy Metering System Projects," *J. Elektron. dan Telekomun.*, vol. 21, no. 1, p. 70, 2021.
- [11] S. Priya, A. Srivastava, S. Kumar, and S. Kumar, "Design and implementation of a smart energy meter based on internet of things and neural network approach," in *3rd*

- International Conference on Internet of Things and Connected Technologies (ICIoTCT)*, pp. 650–657, 2018.
- [12] A. Rabbani, P. Jain, P. Kumar, S. Kumar, and A. Kumar, "Smart Energy Metering and Billing System," *Int. J. Eng. Sci. Res. Technol.*, vol. 8, no. 6, 2019.
- [13] A. Furqon, A. B. Prasetijo, and E. D. Widiyanto, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kendali Daya Listrik pada Rumah Kos Menggunakan NodeMCU dan Firebase Berbasis Android," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 18, no. 02, pp. 93–104, 2019.
- [14] B. Gopika and S. George, "IoT Based Smart Energy Management System using PZEM-004T Sensor & Node MCU," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 9, no. 7, pp. 45–48, 2021.
- [15] O. Munoz, A. Acuña, A. Suastegui, and F. Lara, "Design and Development of an IoT Smart Meter with Load Control for Home Energy Management Systems," *sensors*, vol. 22, no. 7536, pp. 1–24, 2022.
- [16] J. Jose, J. Cyriac, N. Paulose, A. Kumar, and S. Mathew, "IoT-based Smart Meter for Real-Time Electricity Load Analysis and Automation," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 10, no. 04, pp. 91–93, 2022.
- [17] F. Ramdana, M. Nasrun, C. Setianingsih, and M. A. Murti, "Prototype Design Mapping of kWh Meters Based on Internet of Things (IoT)," in *2019 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, pp. 356–362, 2019.
- [18] D. Hossain, H. Ochiai, L. Khan, and Y. Kadobayashi, "Smart Meter Modbus RS-485 Intrusion Detection by Federated Learning Approach," in *2023 15th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, pp. 559–564, 2023.
- [19] M. D. Hossain, H. Ochiai, T. Arisawa, and Y. Kadobayashi, "Smart Meter Modbus RS-485 Spoofing Attack Detection by LSTM Deep Learning Approach," in *2022 9th Swiss Conference on Data Science (SDS)*, pp. 47–52, 2022.
- [20] H. Siebeneicher, "Arduino® & Modbus Protocol," 2023. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/learn/communication/modbus/>. [Accessed: 28-Mar-2024].