

Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Daya Pada Panel Saklar Tegangan Rendah Secara Real-Time Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Design of a Power Quality Monitoring System on Low Voltage Switch Panel in Real-Time Based on Internet of Things (IoT)

Yosy Rahmawati^{*1}, Akbar Nicko Ramadhan², Trie Maya Kadarina³

¹*Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta
Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia*

^{2,3}*Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Kota Jakarta Barat, DKI Jakarta, Indonesia*

*¹Corresponding author: yosy.rahmawati@upnvj.ac.id
²akbarnicko@gmail.com, ³trie.maya@mercubuana.ac.id

Received on 16-11-2023, accepted on 22-01-2024, published on 31-01-2024

Abstrak

Jumlah gardu distribusi pada jaringan distribusi tegangan rendah yang banyak dan lokasinya yang tersebar menyebabkan inspeksi pengukuran pada panel hubung tegangan rendah hanya bisa dilakukan satu sampai tiga bulan sekali. Hal itu menjadi kendala untuk merencanakan pemeliharaan preventif karena data pengukuran yang didapatkan terlalu lama waktunya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan membuat suatu sistem monitoring yang dapat dioperasikan dari jarak jauh dan setiap waktu. Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi berupa *Internet of Things* (IoT) dapat dimanfaatkan menjadi sistem monitoring yang bisa diakses secara real-time dengan konektivitas internet. Pada penelitian ini terdapat dua input sensor, yaitu sensor PZEM-004T dan sensor suhu DS18B20. Kedua sensor tersebut dihubungkan dengan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler. *Output* dari sistem ini, menampilkan nilai tegangan, arus, frekuensi, dan suhu secara *real-time* yang dapat dilihat di aplikasi Telegram dan Google Sheet sebagai *database*. Hasil pengujian dari sistem monitoring ini menunjukkan nilai error dari sensor PZEM-004T untuk pengukuran tegangan yaitu 0,17% di fasa R, 0,15% di fasa S dan 0,13% di fasa T, untuk pengukuran arus yaitu 3,5% di fasa R, 2,5% di fasa S, dan 2% di fasa T, sedangkan untuk pengukuran frekuensi nilai *error* yaitu 0,06% untuk fasa R, 0,07% untuk fasa S, dan 0,05 untuk fasa T. Nilai error sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu yaitu sebesar 3,3%. Nilai error komponen – komponen pengukuran pada alat monitoring kualitas daya secara *real-time* ini di bawah 5% yang menunjukkan komponen – komponen tersebut dapat berfungsi dengan baik.

Kata Kunci: DS18B20, *Internet of Things*, NodeMCU ESP8266, Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah, PZEM-004T.

Abstract

The large number of distribution substations in the low voltage distribution network and their scattered locations mean that measurement inspections on low voltage switchboards can only be carried out once every one to three months. This becomes an obstacle for planning preventive maintenance because the measurement data obtained takes too long. Therefore, this research aims to create a monitoring system that can be operated remotely and at any time. By utilizing developments in information and communication technology in the Internet of Things (IoT),

it can be used as a monitoring system that can be accessed in real-time with internet connectivity. This research has two sensor inputs: the PZEM-004T sensor and the DS18B20 temperature sensor. The two sensors are connected to the NodeMCU ESP8266 as a microcontroller. The output of this system displays real-time voltage, current, frequency, and temperature values, which can be seen in the Telegram and Google Sheets applications as a database. The test results of this monitoring system show that the error value of the PZEM-004T sensor for voltage measurements is 0.17% in the R phase, 0.15% in the S phase and 0.13% in the T phase; for current measurements it is 3.5% in the R phase, 2.5% in the S phase, and 2% in the T phase, while for frequency measurements the error value is 0.06% for the R phase, 0.07% for the S phase, and 0.05 for the T phase. The DS18B20 sensor error value for temperature measurement is 3.3%. The error value of the measurement components in this real-time power quality monitoring tool is below 5%, which indicates that the parts are functioning correctly.

Keywords: DS18B20, *Internet of Things*, Low Voltage Switch Panel, NodeMCU ESP8266, Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah, PZEM-004T.

I. PENDAHULUAN

Jaringan distribusi tegangan rendah menyuplai listrik ke pelanggan melalui gardu-gardu distribusi. Gardu distribusi ini terdiri dari panel hubung bagi tegangan menengah, transformator, dan panel hubung bagi tegangan rendah [1]. Panel hubung bagi tegangan rendah ini yang membagi suplai listrik ke jaringan tegangan rendah dan saluran rumah pelanggan [2]. Pada panel hubung bagi tegangan rendah ini dilakukan inspeksi rutin untuk mengukur arus dan tegangan sebagai langkah preventif untuk mencegah gangguan-gangguan yang terjadi seperti overload dan beban tidak seimbang pada jaringan tegangan rendah. Namun, jumlah gardu distribusi yang banyak dan lokasinya yang tersebar menyebabkan inspeksi pengukuran pada panel hubung tegangan rendah hanya bisa dilakukan satu sampai tiga bulan sekali pada tiap panel. Hal itu menjadi kendala untuk merencanakan pemeliharaan preventif karena data pengukuran yang didapatkan terlalu lama waktunya. Data pengukuran yang terlalu lama juga menyebabkan suplai jaringan listrik untuk pekerjaan perubahan daya dan penyambungan listrik pelanggan tidak sesuai sasaran. Hal ini dapat menyebabkan pembagian beban tidak seimbang yang dapat menyebabkan panas sehingga dapat merusak komponen transformator. Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR) memiliki peran penting sebagai pusat pengendali dan pengaman dalam jaringan distribusi listrik tegangan rendah. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring panel hubung tegangan rendah secara real-time sehingga dapat membantu dalam pengambilan keputusan terkait pemeliharaan, perbaikan, dan optimalisasi operasional jaringan distribusi tenaga listrik.

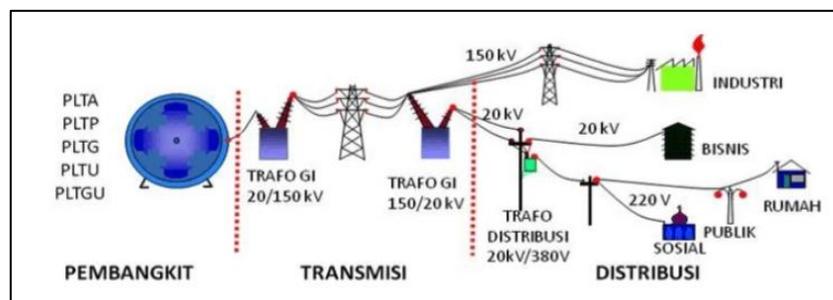
Penelitian terdahulu pernah dilakukan oleh Mochammad Yusa dkk pada tahun 2020 yang berjudul "Deteksi Dini Gangguan Pembatas Arus Listrik pada PHBTR Bertegangan Tinggi Broadcast SMS Gateway". Penelitian ini membuat alat monitoring gangguan listrik pada PHBTR menggunakan input sensor *outocpler* yang diproses dengan mikrokontroler ATMega 8535. Hasil dari penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi sedini mungkin gangguan listrik pada PHBTR, agar dapat ditangani dengan cepat sehingga kerusakan pelanggan peralatan elektronik dan transformator aset PLN dapat diminimalisir [3]. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Osca Zebua dkk membuat alat monitoring pada trafo distribusi menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dengan sensor tegangan ZMPT101B dan sensor arus SCT019. Alat tersebut melakukan monitoring beban transformator distribusi dapat secara online dari jarak jauh menggunakan perangkat yang terhubung ke jaringan internet [4]. Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Deitje Pongoh dan Marson Budiman membuat alat praktek monitoring menggunakan mikrokontroler ESP8266 dengan modul sensor PZEM-004T. Hasil penelitian berupa alat monitoring di mana beban yang terukur pada fasa R S T dapat dilihat dari layar LCD dan dipantau dari jarak jauh lewat smartphone melalui website [5]. Penelitian yang dilakukan oleh Wendhi Yuniarto dkk pada tahun 2023 yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things (IoT)". Penelitian ini membuat alat monitoring dan kontroling beban 3 fasa pada Laboratorium dan Bengkel Elektronika Politeknik Negeri Pontianak (POLNEP) menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan modul sensot PZEM-004T. Hasil penelitian berupa alat monitoring tegangan, arus, daya, dan faktor daya beban 3 fasa, serta kontrol (on/off system 3 fasa) melalui platform IoT Thingboard [6].

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan rancang bangun sistem *monitoring* kualitas daya pada panel hubung bagi tegangan rendah secara *real-time* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat digunakan untuk memantau nilai arus, tegangan dan suhu pada panel hubung bagi tegangan rendah yang mudah dipantau dan diakses secara langsung oleh petugas PLN. Dengan memanfaatkan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi berupa *Internet of Things* (IoT) yang terdiri dari sensor dan mikrokontroler sehingga dapat dimanfaatkan menjadi sistem *monitoring* yang dapat diakses secara *real-time* dengan konektivitas internet untuk melakukan pemantauan kualitas daya jaringan tegangan rendah meliputi tegangan, arus, daya, frekuensi, dan suhu pada panel hubung bagi tegangan rendah. Sistem monitoring berbasis IoT sudah pernah dibuat oleh [4] dan [5] untuk monitoring beban tiga fasa. Tetapi, sistem tersebut hanya melakukan pemantauan melalui website dan tidak ada database untuk menyimpan data-data pengukuran. Padahal pemanfaatan *Internet of Things* untuk melakukan monitoring dapat dilakukan melalui aplikasi-aplikasi seperti Telegram atau Google Sheet yang memiliki akses lebih mudah hanya dengan menggunakan smartphone. Aplikasi tersebut juga memiliki bandwidth pengiriman yang cepat melalui koneksi internet dan juga gratis untuk diakses oleh petugas. Maka, pada penelitian ini, dilakukan monitoring kualitas daya PHBTR secara *real-time* memanfaatkan aplikasi *Google Sheets* dan *Telegram*.

II. LANDASAN TEORI

A. Sistem Tenaga Listrik

Energi dari pusat pembangkit disalurkan melalui saluran transmisi kemudian melalui saluran kabel distribusi dan sampai menuju ke konsumen. Bagian utama pada sistem tenaga listrik antara lain: 1) Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*), pusat pembangkit listrik merupakan awal dari energi listrik dibangkitkan. Pada pembangkit sendiri terdapat turbin sebagai penggerak awal dan generator yang membangkitkan listrik dengan mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik; 2) Transmisi Tenaga Listrik, Pada transmisi tenaga listrik terdapat proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga menuju saluran distribusi listrik sehingga dapat tersalurkan menuju pengguna listrik; 3) Sistem Distribusi, pada sistem distribusi terdiri dari beberapa sub sistem yaitu pusat pengatur atau gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah atau jaringan primer (6kV dan 20kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah atau jaringan sekunder (380V dan 220V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo, yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Sistem Tenaga Listrik [7]

B. Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHBTM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V) [8].

C. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

Kelompok Kerja Standar Konstruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik, Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia, pada buku PLN 3 (2010) menyatakan bahwa jaringan distribusi tegangan rendah adalah jaringan tenaga listrik yang berhadapan langsung dengan konsumen atau bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik pada tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya dari penyaluran tegangan rendah dengan tegangan 230/400 V serta tegangan dibatasi pada +5% - 10% dengan pembebanan maksimal [9].

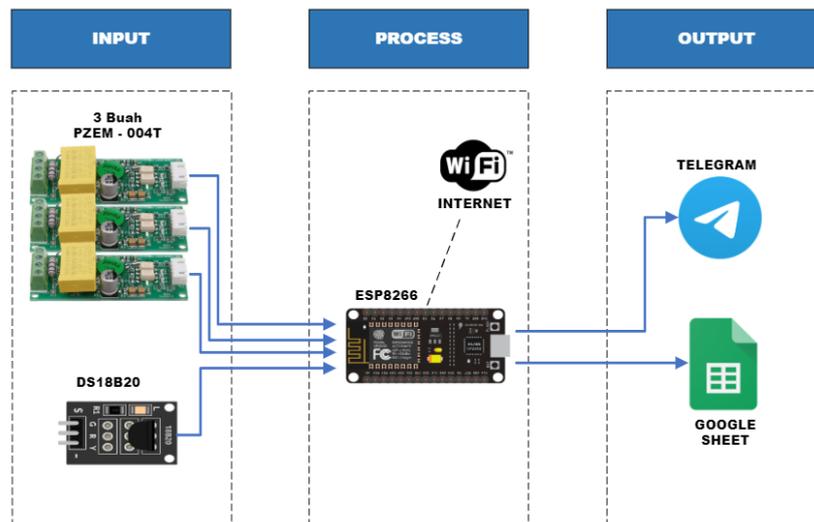
D. Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR)

Kelompok Kerja Standar Konstruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia, Buku 4 (2010) menyatakan bahwa PHBTR merupakan suatu kombinasi dari satu atau lebih perlengkapan hubung bagi tegangan rendah dengan peralatan kontrol peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan [10, 11]. Keseluruhannya dirakit lengkap dengan sistem wiring dan mekanis pada bagian-bagian penyangganya [12].

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem *Monitoring*

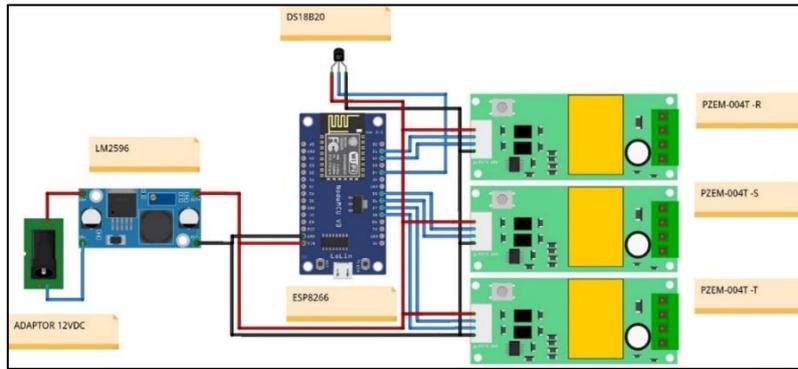
Pada diagram blok pada Gambar 2 diketahui bahwa sensor PZEM-004T dan sensor DS18B20 sebagai masukan dari alat *monitoring* yang melakukan pengukuran pada panel hubung bagi tegangan rendah. ESP32 sebagai mikrokontroler akan menerima data dan melakukan proses yang akan mengirim data dengan bantuan internet. Aplikasi *Google Sheet* akan menerima data yang dikirimkan dan akan disimpan sebagai *database*. Sedangkan aplikasi *Telegram* dapat meminta data sewaktu – waktu yang akan dikirimkan oleh *bot chat* telegram.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem *Monitoring*

B. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Bagian ini merupakan bagian perancangan *hardware* yang berupa komponen-komponen elektrik dari sistem *monitoring* kualitas daya secara *real-time*. Komponen-komponen yang digunakan terdiri dari sensor daya PZEM-004T, sensor suhu DS18B20, NodeMCU ESP8266, dan LM2596. Pada perancangan *hardware*, *input* dari NodeMCU didapat dari keluaran *voltage regulator* LM2596. Ketiga *input* sensor PZEM-004T terpasang pada pin digital NodeMCU ESP8266. Sensor suhu DS18B20 yang digunakan untuk membaca nilai suhu juga mendapat *input* dari pin digital NodeMCU ESP8266. Pada perancangan *hardware* dalam ini memakai *power supply* 12 Volt sebagai catu daya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian *Hardware* Sistem *Monitoring*

C. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Bagian ini membuat program yang akan dimasukkan ke dalam mikrokontroler. Pemrograman ini menentukan komponen-komponen yang telah dirakit mampu beroperasi atau tidak serta dapat sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Pada pemrograman ini peneliti memasukkan suatu perintah (*coding*) ke dalam mikrokontroler menggunakan *software* Arduino IDE. *Board manager* yang digunakan untuk ESP8266 adalah versi 2.7.4 yang dapat di unduh pada *software* Arduino IDE.

1. Pemrograman Pengiriman Data ke Google Sheets

Bagian ini bertujuan untuk memberikan perintah kepada NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler pada alat untuk mengirimkan data pengukuran yang sudah terbaca oleh sensor ke *database google sheets*. Alur program pada aplikasi ini dari pembacaan sensor menggunakan ESP8266 kemudian mengirimkan log data sampai ke *spreadsheet google* mempunyai 2 bagian kode yang terpisah. Kode program pada ESP8266 berfungsi untuk membaca *output* dari sensor PZEM kemudian mengirimkan datanya ke server *Google Sheet* menggunakan kode Token *Google Sheet*:

"AKfybcxqF68pkczlZZfE1rW2JLjBwMROL0zf7-gIFEjSmXNIuT61YKvKvIFQhVH840rXSPBH".

Setelah data terkirim ke server *google sheet*, kemudian dalam kode program *google script* terdapat kode program yang berfungsi untuk memarsing data kemudian menulis pada *Google Sheet*. Kode program *google script* tersebut seperti Gambar 4.

```
52 sheet.insertRow(1);
53
54 case "insert_row":
55 sheet.insertRow(3); // insert full row directly below header text
56
57 //var range = sheet.getRange("A2:L2"); // use this to insert cells just above the existing data instead of inserting an entire row
58 //range.insertCells(SpreadsheetApp.Dimension.ROWS); // use this to insert cells just above the existing data instead of inserting an entire row
59
60 sheet.getRange("A3").setValue(date.now); // Date
61 sheet.getRange("B3").setValue(time.now); // Time
62
63 sheet.getRange("C3").setValue(value0); // VR
64 sheet.getRange("D3").setValue(value1); // VS
65 sheet.getRange("E3").setValue(value2); // VT
66
67 sheet.getRange("F3").setValue(value3); // IR
68 sheet.getRange("G3").setValue(value4); // IS
69 sheet.getRange("H3").setValue(value5); // IT
70
71 sheet.getRange("I3").setValue(value6); // FR
72 sheet.getRange("J3").setValue(value7); // FS
73 sheet.getRange("K3").setValue(value8); // FT
74
75 sheet.getRange("L3").setValue(value9); // PFR
76 sheet.getRange("M3").setValue(value10); // PFS
77 sheet.getRange("N3").setValue(value11); // PFT
78
79 sheet.getRange("O3").setValue(value12); // TEMP
80
81
82
83 str = "Success"; // string to return back to arduino serial console
84 SpreadsheetApp.flush();
85 break;
```

Gambar 4. Pemrograman untuk Aplikasi *Google Sheets*

2. Pemrograman Pengiriman Data ke Telegram

Pemrograman ini bertujuan untuk memberikan perintah kepada NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler pada alat *monitoring* kualitas daya pada PHBTR secara *real-time* untuk mengirimkan data pengukuran hasil pembacaan alat *monitoring* kualitas daya pada PHBTR ke aplikasi apabila pengawas atau pengguna meminta. Pemrograman pada aplikasi Arduino IDE seperti pada Gambar 5.

```
if (millis() - bot_lasttime > BOT_MTBS) {
  int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
  while (numNewMessages) {
    Serial.println("got response");
    for (int i = 0; i < numNewMessages; i++) {
      if (bot.messages[i].text == "/hello") {
        Serial.print("Command:"); Serial.println("hello");
        Serial.println(bot.messages[i].chat_id);
        bot.sendMessage(bot.messages[i].chat_id, "Hello Boss");
      }
      else if (bot.messages[i].text == "/temp") {
        Serial.print("Command:"); Serial.println("hello");
        Serial.println(bot.messages[i].chat_id);
        String str_temp = "Temp: " + String(temp) + "°C";
        bot.sendMessage(bot.messages[i].chat_id, str_temp);
      }
      else {
        bot.sendMessage(bot.messages[i].chat_id, "Correct your command...");
      }
    }
    Serial.println(v_r);Serial.print(",");
    Serial.println(i_r);Serial.print(",");
    Serial.println(f_r);Serial.print(",");
    Serial.println(pf_r);Serial.print(",");

    Serial.println(v_s);Serial.print(",");
    Serial.println(i_s);Serial.print(",");
    Serial.println(f_s);Serial.print(",");
    Serial.println(pf_s);Serial.print(",");

    Serial.println(v_t);Serial.print(",");
    Serial.println(i_t);Serial.print(",");
    Serial.println(f_t);Serial.print(",");
    Serial.println(pf_t);Serial.print(",");

    Serial.print(temp);
  }
}
```

Gambar 5. Pemrograman untuk Aplikasi *Telegram*

D. Prinsip Kerja Sistem Monitoring Secara Real-Time

Sistem *Monitoring* Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah Berbasis IoT merupakan alat yang digunakan untuk memonitor besarnya nilai tegangan, arus, dan frekuensi pada sisi tegangan rendah. Cara kerja dari alat yang tela dibuat yaitu, pertama mikrokontroler dihubungkan dengan adaptor *charger* yang terhubung dengan sumber listrik 220V PLN sebagai sumber tegangan. Lalu pin *input* RX dan TX pada PZEM-004T fasa R dihubungkan pada pin D1 dan D2, fasa S pada pin D5 dan D6, dan fasa S pada pin D8 dan D7. Selanjutnya pin *output* pada sensor dihubungkan pada fasa R,S,T dan netral pada PHB-TR untuk mengukur tegangan. Untuk pengukuran arus dengan memasang *split core* CT pada sensor pada masing – masing fasa. Ketika semua sudah terhubung, maka mikrokontroler akan secara otomatis menyala dan terhubung pada internet yang sudah diatur dalam program. Setelah itu sensor akan melakukan pengukuran terhadap arus dan tegangan. Ketika sensor melakukan pengukuran, maka hasil pengukuran tersebut akan diterima oleh mikrokontroler. Pada mikrokontroler data hasil pengukuran sensor selanjutnya dikirim menuju *Google Sheets* secara *real-time* dan *update* setiap 10 detik. Selain itu hasil data pengukuran akan dikirimkan berupa pesan pemberitahuan dengan aplikasi *Telegram* dengan memberikan perintah “/tegangan”, “/arus”, atau “/freq” pada bot *monitoring* dan pada waktu itu juga mikrokontroler akan mengirim data hasil pengukuran. Selain data pengukuran, pada bot *monitoring* dapat mengirimkan *link database* dengan mengirimkan perintah pada bot berupa pesan “/database”, lalu akan masuk pesan pemberitahuan yang berisikan *link* dari *database* yang berupa *Google Sheets*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Hardware

Hasil dari perancangan perangkat keras yang berupa sebuah alat monitoring kualitas daya pada PHBTR berbentuk kotak panel warna abu-abu yang berisi komponen-komponen yang telah terpasang dengan rapi. Penampakan alat monitoring kualitas daya pada PHBTR secara *real-time* dapat dilihat pada Gambar 6. Bagian dalam panel terdapat tiga buah sensor PZEM-004T, sebuah sensor DS18B20, sebuah NodeMCU ESP8266, sebuah voltage regulator LM2596, tiga buah MCB, dua lubang kotak kontak, adaptor 12V, dan terminal blok.

C. Hasil Pengujian Kualitas Daya

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran dari sistem monitoring secara *real-time* dengan hasil dari alat ukur professional.. Ada 3 parameter yang diuji untuk kualitas daya yaitu tegangan, arus, dan frekuensi.

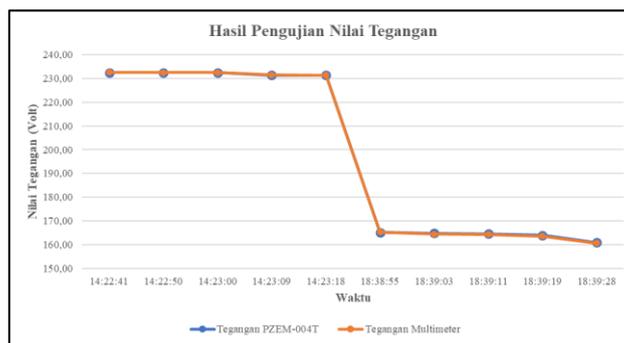
3. Pengujian Nilai Tegangan

Pengujian ini membandingkan nilai tegangan yang terbaca di sensor PZEM-004T dengan nilai tegangan yang dibaca oleh alat ukur multimeter. Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini yaitu multimeter digital merek “HIOKI”. Data hasil pengujian nilai tegangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Nilai Tegangan

Waktu	Tegangan PZEM-004T			Tegangan Multimeter			Nilai Kesalahan (Error)		
	V1 (Volt)	V2 (Volt)	V3 (Volt)	V1 (Volt)	V2 (Volt)	V3 (Volt)	V1 (Volt)	V2 (Volt)	V3 (Volt)
14:22:41	232,60	232,50	232,30	232,70	232,50	232,60	0,10	0,00	0,30
14:22:50	232,70	232,60	232,40	232,50	232,50	232,60	0,20	0,10	0,20
14:23:00	232,60	232,50	232,40	232,60	232,60	232,50	0,00	0,10	0,10
14:23:09	231,60	231,50	231,30	231,40	231,60	231,50	0,20	0,10	0,20
14:23:18	231,60	231,50	231,20	231,50	231,40	231,30	0,10	0,10	0,10
18:38:55	165,30	165,20	165,10	165,30	165,30	165,10	0,00	0,10	0,00
18:39:03	164,90	164,70	164,60	164,5	164,5	164,4	0,40	0,20	0,20
18:39:11	164,70	164,50	164,50	164,4	164,0	164,3	0,30	0,50	0,20
18:39:19	164,00	163,90	163,80	163,7	163,5	163,4	0,30	0,40	0,40
18:39:28	161,00	160,90	160,80	160,6	160,7	160,5	0,40	0,20	0,30
Rata - Rata	163,98	163,84	163,76	163,7	163,6	163,54	0,28	0,24	0,22

Data hasil pengujian nilai tegangan juga dapat ditampilkan dalam grafik seperti Gambar 9 sehingga terlihat perbandingan nilai rata – rata hasil pembacaan sistem *monitoring* secara *real-time* dan hasil pembacaan multimeter digital merek “HIOKI”. Jatuhnya nilai tegangan dipengaruhi oleh jumlah beban yang meningkat, di mana saat melakukan pengujian di jurusan yang *overload*, sehingga ketika jam 18.00 ke atas mulai terjadi pemakaian lampu, AC, dan lainnya yang menyebabkan drop tegangan.



Gambar 9. Grafik hasil pengujian nilai tegangan

Nilai error pada sensor PZEM-004T ke-1 yang digunakan untuk membaca nilai tegangan di fasa satu memiliki rata-rata error 0,28 V. Sensor PZEM-004T ke-2 yang digunakan untuk membaca nilai tegangan di fasa kedua memiliki rata – rata error 0,24 V. Sedangkan sensor PZEM-004T ke-3 yang digunakan untuk membaca nilai tegangan di fasa ketiga memiliki rata – rata nilai error 0,22 V. Nilai error pada sensor PZEM-004T ke-1 yang digunakan untuk membaca nilai tegangan di fasa satu memiliki rata-rata error 0,28 V. Sensor PZEM-004T ke-2 yang digunakan untuk membaca nilai tegangan di fasa kedua memiliki rata – rata error 0,24 V. Sedangkan sensor PZEM-004T ke-3 yang digunakan untuk membaca nilai tegangan di fasa ketiga memiliki rata – rata nilai error 0,22 V. Data nilai error tegangan tersebut jika diubah dalam bentuk persentase menjadi seperti berikut:

a. Sensor PZEM-004T ke-1:

$$Error = \frac{0,28}{163,7} \times 100\% = 0,17\%$$

b. Sensor PZEM-004T ke-2:

$$Error = \frac{0,24}{163,6} \times 100\% = 0,15\%$$

c. Sensor PZEM-004T ke-3:

$$Error = \frac{0,22}{163,54} \times 100\% = 0,13\%$$

Ketiga sensor PZEM-004T memiliki nilai *error* 0,17%, 0,15%, dan 0,13%. Tingkat *error* ketiga sensor tersebut untuk membaca variabel tegangan tidak sampai 5%, maka ketiga sensor PZEM-004T berfungsi dengan baik dan dapat digunakan untuk melakukan *monitoring* secara *Real-Time*.

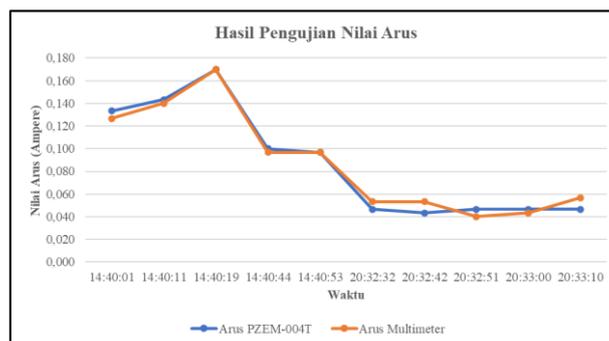
4. Pengujian Nilai Arus

Pengujian ini membandingkan nilai arus yang terbaca di sensor PZEM-004T dengan nilai tegangan yang dibaca oleh alat ukur multimeter. Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini yaitu multimeter digital merek “HIOKI”. Data hasil pengujian nilai tegangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Nilai Arus

Waktu	Arus Perangkat			Arus Multimeter			Nilai Kesalahan (Error)		
	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)
14:40:01	0,13	0,08	0,19	0,12	0,06	0,2	0,01	0,02	0,01
14:40:11	0,12	0,12	0,19	0,13	0,12	0,17	0,01	0,00	0,02
14:40:19	0,12	0,12	0,27	0,12	0,13	0,26	0,00	0,01	0,01
14:40:44	0,11	0,13	0,06	0,11	0,12	0,06	0,00	0,01	0,00
14:40:53	0,11	0,12	0,06	0,11	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00
20:32:32	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,04	0,00	0,02	0,00
20:32:42	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,01	0,00	0,02
20:32:51	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,00	0,00
20:33:00	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,01	0,00	0,00
20:33:10	0,06	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,01	0,02	0,02
Rata - Rata	0,088	0,077	0,097	0,085	0,079	0,099	0,003	0,002	0,002

Data hasil pengujian nilai arus juga dapat ditampilkan dalam grafik seperti Gambar 10 sehingga terlihat perbandingan nilai rata – rata hasil pembacaan sensor PZEM-004T dan hasil pembacaan multimeter digital merek “HIOKI”.



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Nilai Arus

Data hasil pengujian terdapat nilai *error* yang berbeda-beda setiap penarikan data arus. Terlihat pada pukul 14:40:44 WIB terjadi perubahan nilai arus yang signifikan dari 0,17 A menjadi 0,1 A. Hal tersebut dikarenakan beban saat pengujian salah satunya yaitu *charger* untuk laptop dan *handphone* yang pada saat itu sudah mulai terisi penuh sehingga nilai arus yang digunakan menurun. Nilai *error* pada sensor PZEM-004T ke-1 yang digunakan untuk membaca nilai tegangan di fasa satu memiliki rata – rata *error* 0,003 A. Sensor PZEM-004T ke-2 yang digunakan untuk membaca nilai arus di fasa kedua memiliki rata – rata *error* 0,002 A. Sedangkan sensor PZEM-004T ke-3 yang digunakan untuk membaca nilai arus di fasa ketiga memiliki rata – rata nilai *error* 0,002 A. Data nilai *error* arus tersebut jika diubah dalam bentuk persentase menggunakan persamaan 2.3 menjadi seperti berikut:

a. Sensor PZEM-004T ke-1:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{0,003}{0,085} \times 100\% \\ &= 3,5\% \end{aligned}$$

b. Sensor PZEM-004T ke-2:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{0,002}{0,079} \times 100\% \\ &= 2,5\% \end{aligned}$$

c. Sensor PZEM-004T ke-3:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{0,002}{0,099} \times 100\% \\ &= 2\% \end{aligned}$$

Ketiga sensor PZEM-004T memiliki nilai *error* arus 3,5% untuk fasa R, 2,5% untuk fasa S, dan 2% untuk fasa T. Tingkat *error* ketiga sensor tersebut untuk membaca variabel arus tidak sampai 5%, maka ketiga sensor PZEM-004T berfungsi dengan baik dan dapat digunakan untuk melakukan *monitoring* secara *real-time*.

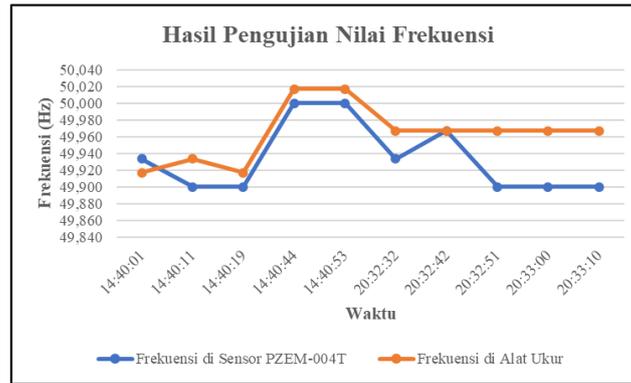
5. Pengujian Nilai Frekuensi

Pengujian ini membandingkan nilai frekuensi yang terbaca di sensor PZEM-004T dengan nilai frekuensi yang dibaca oleh alat ukur *power quality analyzer*. Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini yaitu *power quality analyzer* merek “KYORITSU”. Pengujian dilakukan dengan menyambungkan ketiga sensor PZEM-004T, sehingga ketiga sensor membaca atau mengukur nilai *input* frekuensi yang sama. Data hasil pengujian nilai frekuensi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Nilai Frekuensi

Waktu	Frekuensi PZEM-004T			Frekuensi Alat Ukur			Nilai Kesalahan (Error)		
	f1 (Hz)	f2 (Hz)	f3 (Hz)	f1 (Hz)	f2 (Hz)	f3 (Hz)	f1 (Hz)	f2 (Hz)	f3 (Hz)
14:40:01	49,90	49,90	50,00	49,90	49,90	49,95	0,00	0,00	0,05
14:40:11	49,90	49,90	49,90	49,95	49,90	49,95	0,05	0,00	0,05
14:40:19	49,90	49,90	49,90	49,90	49,90	49,95	0,00	0,00	0,05
14:40:44	50,00	50,00	50,00	50	50	50,05	0,00	0,00	0,05
14:40:53	50,00	50,00	50,00	50	50	50,05	0,00	0,00	0,05
20:32:32	49,90	49,90	50,00	49,95	49,95	50	0,05	0,05	0,00
20:32:42	50,00	49,90	50,00	50	50	49,90	0,00	0,10	0,10
20:32:51	49,90	49,90	49,90	49,95	49,95	50	0,05	0,05	0,10
20:33:00	49,90	49,90	49,90	49,95	50	49,95	0,05	0,10	0,05
20:33:10	49,90	49,90	49,90	50	49,95	49,95	0,10	0,05	0,05
Rata - Rata	49,93	49,92	49,95	49,96	49,955	49,975	0,030	0,035	0,025

Data hasil pengujian nilai frekuensi juga dapat ditampilkan dalam grafik seperti Gambar 11 sehingga terlihat perbandingan nilai rata-rata hasil pembacaan sensor PZEM-004T dan hasil pembacaan *power quality analyzer* merek “KYORITSU”



Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Nilai Frekuensi

Data hasil pengujian terdapat nilai *error* yang berbeda – beda setiap penarikan data frekuensi. Nilai *error* pada sensor PZEM-004T ke-1 yang digunakan untuk membaca nilai frekuensi di fasa satu memiliki rata-rata *error* 0,03 Hz. Sensor PZEM-004T ke-2 yang digunakan untuk membaca nilai frekuensi di fasa kedua memiliki rata-rata *error* 0,035 Hz. Sedangkan sensor PZEM-004T ke-3 yang digunakan untuk membaca nilai frekuensi di fasa ketiga memiliki rata-rata nilai *error* 0,25 Hz. Data nilai *error* frekuensi tersebut jika diubah dalam bentuk persentase menggunakan persamaan 2.3 menjadi seperti berikut:

a. Sensor PZEM-004T ke-1:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{0,03}{49,96} \times 100\% \\ &= 0,06\% \end{aligned}$$

b. Sensor PZEM-004T ke-2:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{0,035}{49,955} \times 100\% \\ &= 0,07\% \end{aligned}$$

c. Sensor PZEM-004T ke-3:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{0,25}{49,975} \times 100\% \\ &= 0,05\% \end{aligned}$$

Ketiga sensor PZEM-004T memiliki nilai *error* 0,06% untuk fasa R, 0,07% untuk fasa S, dan 0,05% untuk fasa T. Tingkat *error* ketiga sensor tersebut untuk membaca variabel frekuensi tidak sampai 1%, maka ketiga sensor PZEM-004T berfungsi dengan baik dan dapat digunakan untuk melakukan *monitoring* secara *Real-Time*.

D. Hasil Pengujian Penarikan Data Monitoring

Pengujian ini bertujuan untuk melihat hasil perancangan pada program pembacaan masing-masing sensor yang berbasis *internet of things* pada aplikasi *Google Sheets* dan *Telegram*.

1. Pengujian pada Aplikasi *Google Sheets*.

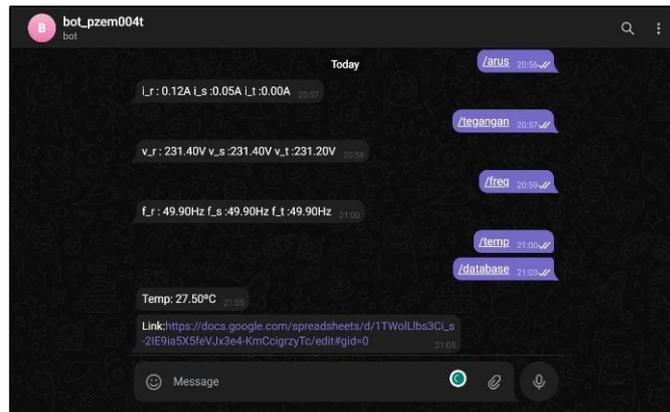
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pembacaan sensor serta waktu pengiriman data ke aplikasi *Google Sheets* selaku *database* dari sistem *monitoring* kualitas daya secara *realtime*. Dalam pengujian ini dapat dilihat waktu yang diperlukan untuk mengirimkan data pada *database*. Alat *monitoring* kualitas daya secara *real-time* tersambung dengan *Wi-Fi* berkoneksi *Telkomsel* saat pengujian. hasil percobaan dari pengiriman data pada *Google Sheets* seperti pada Gambar 12.

Gambar 12. Pengujian Penerimaan Data di Database Google Sheets

Berdasarkan hasil pengujian kali ini mengenai pengiriman data dari ESP8266 menuju database terlihat bahwa seperti pada Gambar 12 yang merupakan tampilan informasi mengenai pengiriman data yang sukses, terlihat pada serial monitor bahwa data sudah sukses terkirim pada hari Minggu, 18 Juni 2023 pukul 18.08.15 dan pada database data ter-update pada hari Minggu, 18 Juni 2023 pukul 18.08.26. Adanya selisih waktu pada pengiriman ini dapat disebabkan oleh kecepatan internet yang digunakan, serta proses koneksi ESP8266 setelah reset.

2. Pengujian pada Aplikasi Telegram

Pengujian pengiriman data pada Telegram dilakukan untuk mengetahui waktu pengiriman permintaan data dan penerimaan pesan balasan yang berisi data pengukuran melalui Telegram dalam bentuk pesan pemberitahuan pada bot monitoring. Pengujian dilakukan dengan menyambungkan alat ke beban listrik dan dilakukan permintaan data melalui bot monitoring seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengujian Penerimaan Data Di Telegram

Hasil pengujian ini, didapatkan data untuk mengetahui durasi waktu yang diperlukan untuk menerima pesan data hasil melalui bot Telegram seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Penerimaan Data di Telegram

No	Pesan	Permintaan Pesan Bot	Penerimaan Pesan Bot	Selisih Waktu (Detik)
1	/tegangan	14:24:45	14:26:31	106
2	/arus	14:26:32	14:26:35	68
3	/freq	14:26:45	14:27:28	81
4	/database	14:27:26	14:27:32	6

No	Pesan	Permintaan Pesan Bot	Penerimaan Pesan Bot	Selisih Waktu (Detik)
5	/temp	14:27:52	14:29:51	121
6	/arus	20:56:03	20:57:26	83
7	/tegangan	20:57:45	20:58:53	68
8	/freq	20:59:02	21:00:23	71
9	/temp	21:00:41	21:05:03	262
10	/database	21:03:58	21:05:06	68
Rata - Rata				93,4

Berdasarkan pengujian kali ini, terlihat bahwa pada Tabel 4.5 didapatkan nilai selisih antara permintaan dan penerimaan antara mikrokontroler ESP8266 dengan Telegram. Pengujian dilakukan di siang dan malam hari. Balasan paling cepat yaitu ketika dilakukan permintaan data *link database* pada pukul 14:27:26 WIB, mendapatkan pesan balasan atau penerimaan data pada pukul 14:27:32 WIB yang mana terdapat selisih waktu hanya 6 detik. Balasan paling lama saat pengujian yaitu ketika permintaan data nilai suhu pada pukul 21:00:41 WIB, mendapat pesan balasan atau penerimaan data pada pukul 21:05:03 WIB. Yang mana ada selisih waktu 262 detik. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya *delay* waktu yang lebih lama ini dikarenakan tingkat kecepatan internet dan program yang masih pada proses reset. Hasil seluruh pengujian pengiriman data pada aplikasi telegram terdapat selisih waktu dengan rata-rata 93.4 detik. Hasil tersebut terhitung cepat dan menunjukkan sistem komunikasi dengan telegram berfungsi dengan baik. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya *delay* waktu yang bervariasi ini dikarenakan tingkat kecepatan internet.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian di atas, dapat disimpulkan hasil pengujian sistem monitoring PHBTR berbasis IoT yaitu :

1. Hasil pengujian dari sistem monitoring menunjukkan nilai *error* dari sensor PZEM-004T untuk pengukuran tegangan yaitu 0,17% di fasa R, 0,15% di fasa S dan 0,13% di fasa T, untuk pengukuran arus yaitu 3,5% di fasa R, 2,5% di fasa S, dan 2% di fasa T, sedangkan untuk pengukuran frekuensi nilai *error* yaitu 0,06% untuk fasa R, 0,07% untuk fasa S, dan 0,05 untuk fasa T. Nilai *error* sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu yaitu sebesar 3,3% yang merupakan perbandingan nilai keluaran pada sensor yang terbaca di *spreadsheet google* dengan *thermovision* alat pendeteksi suhu.
2. Nilai *error* di bawah 5% untuk semua komponen, menunjukkan bahwa komponen-komponen tersebut dapat berfungsi dengan baik dalam melakukan pengukuran tegangan, arus, dan frekuensi. nilai *error* yang rendah mengindikasikan bahwa hasil pengukuran yang diberikan oleh sensor atau perangkat tersebut cukup akurat dan dapat digunakan dalam sistem monitoring kualitas daya secara real-time.
3. Batasan limit jumlah data yang ditampung tergantung penyimpanan pada *google drive*. *Google driive* memiliki *freespace* sebesar 15 Gb, bisa dilakukan *extend* berbayar sampai 150 Gb. Sebagai contoh pada percobaan di atas *file spreadsheet* hanya berukuran sekitar 200 Kb.

ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim penelitian ini yang telah bekerja sama hingga penelitian berjalan dengan baik dan lancar. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada segenap akademisi yang telah mendukung kelancaran penelitian ini sebagai perwujudan tanggung jawab sosial Lembaga Pendidikan Tinggi - Tri Dharma Perguruan Tinggi.

REFERENSI

- [1] P. PLN, "Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik," *PT. PLN (Persero), Jalan Trunajoyo Blok M-1/kebayoran lama, Jakarta Selatan*, 2010.
- [2] P. Pln, "Buku 1 Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik," *PT PLN (Persero), Jakarta*, 2010.
- [3] M. Yusa and J. D. Santoso, "Deteksi Dini Gangguan Pembatas Arus Listrik Pada PHB-TR Bertegangan Tinggi Broadcast SMS Gateway," *Pseudocode*, vol. 7, no. 2, pp. 143-150, 2020.
- [4] O. Zebua, K. Endah, A. Syaiful, and A. Aldiansyah, "Rancang Bangun Alat Monitoring Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Berbasis Internet of Things," *Electrician–Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 146-152, 2021.
- [5] D. Pongoh and M. Budiman, "Rancang Bangun Alat Praktek Simulasi Monotoring Keseimbangan Beban Listrik 3 Fasa Berbasis Iot," *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer dan Informatika)*, vol. 6, no. 2, pp. 1268-1282, 2022.
- [6] W. Yuniarto, I. Irman, S. Suparno, M. Diponegoro, and E. Edi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik Pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Think (IoT)," *Jurnal Poli-Teknologi*, vol. 22, no. 1, pp. 30-38, 2023.
- [7] S. Suganda, I. Ilyas, S. Sugianto, and H. Yulianto, "Analisis Tegangan Drop Jaringan Tegangan Rendah Dengan Metode Pembagian Beban," *Sainstech: Jurnal penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, vol. 32, no. 4, pp. 9-18, 2022.
- [8] A. Wantoro, "Sistem Monitoring Perawatan Dan Perbaikan Fasilitas Gardu PT PLN Area Kota Metro," *Jurnal Tekno Kompak*, vol. 15, no. 1, pp. 116-130, 2021.
- [9] A. Muhtar, I. Iwan, A. Antarissubhi, and S. Suryani, "Analisis Rugi Daya Jaringan Distribusi Primer PT. PLN ULP Sengkang Sulawesi Selatan," *VERTEX ELEKTRO*, vol. 13, no. 1, pp. 18-24, 2021.
- [10] H. Sugihara, K. Yokoyama, O. Saeki, K. Tsuji, and T. Funaki, "Economic and efficient voltage management using customer-owned energy storage systems in a distribution network with high penetration of photovoltaic systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 102-111, 2012.
- [11] S.-E. Razavi *et al.*, "Impact of distributed generation on protection and voltage regulation of distribution systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 105, pp. 157-167, 2019.
- [12] P. PLN, "Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah Tenaga Listrik," ed: Jakarta: PT. PLN Persero, 2010.