



DESAIN *MONITORING* DAN PENGENDALI BEBAN PADA PANEL LISTRIK BERBASIS IOT MENGGUNAKAN *WEB SERVER*

Lukman Aditya ^{1*}, Hedy Prayitno ², Nurhabibah Naibaho³

¹²³ Universitas Krisnadwipayana, Jl Jatiwaringin Jaticempaka-Pondok Gede, 13077, Jawa Barat-Indonesia

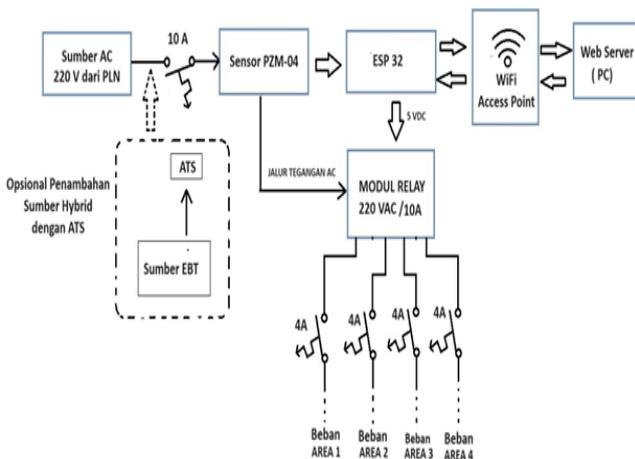
INFORMASI ARTIKEL	A B S T R A K
Received: February 05, 2025 Revised: March 13, 2025 Available online: March 25, 2025	<p>Penggunaan energi listrik yang efisien dapat diwujudkan dengan sistem yang terpantau dan terkendali. Ditambahkannya sistem monitoring dan pengendali berbasis <i>internet of Things</i> (IoT) pada panel listrik, mampu melakukan pengaturan beban listrik dan <i>monitoring</i> penggunaan energi listrik secara <i>real time</i>. Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun sistem <i>monitoring</i> dan pengendali beban menggunakan 4 <i>channel</i> pembagi beban, masing-masing terdapat MCB 4 A dan MCB jalur utama 10 A. Tiap <i>channel</i> beban didisain memiliki kapasitas 900 watt, dan beban total 4 <i>channel</i> sebesar 2200 watt. Modul PZEM-004T digunakan untuk membaca nilai pemakaian daya, yang dihubungkan pada ESP32 untuk mengirim data melalui internet <i>wifi</i> sehingga dapat diakses melalui <i>browser</i> pada PC atau perangkat seluler. Sistem kendali berbasis IoT memungkinkan pengguna untuk menyeleksi beban pada <i>channel</i> dengan memilih <i>on</i> atau <i>off</i> pada tampilan <i>browser</i>. Terdapat empat pilihan <i>channel</i> beban dan satu pilihan <i>channel</i> untuk mengaktifkan atau mematikan seluruh beban. Pengujian dilakukan pada <i>channel</i> beban menggunakan lima buah lampu halogen 500 watt, dengan daya maksimum 1994,30 watt, arus maksimum 9,01 A dan tegangan rata-rata 226,56 Volt. Pengujian pada salah satu <i>channel</i> beban didapat daya maksimum 841,50 watt, arus maksimum 3,66 A. Pengujian ini dapat menjadi acuan <i>channel</i> beban yang lain karena memiliki karakteristik disain yang sama.</p> <p>Kata kunci—Internet of Things, beban listrik, monitoring, PZEM-004T, web server</p>
CORRESPONDENCE	A B S T R A C T
E-mail: ¹ lukmanaditya@unkris.ac.id	<p>Electrical energy efficiency can be realized with monitored and controlled use. By adding that an internet of Things (IoT) based monitoring and control system on the electrical panel can be used to regulate electrical loads and monitor electrical energy usage in real-time. In this research, a load monitoring and control system was designed using 4 load sharing channels, each with a 4 A MCB and a 10 A main line MCB. Each load channel is designed to have a capacity of 900 watts, and the total load for 4 channels is 2200 watts. The PZEM-004T module is used to read power consumption values, which is connected to the ESP32 to send data via WiFi internet which can be accessed via a browser on a PC or mobile device. The IoT-based control system allows users to select the load on the channel by selecting on or off on the browser display. There are four load channel options and one channel option to activate or deactivate all loads. Tests were carried out on the load channel using five 500 watts halogen lamps, obtained a maximum power of 1994.30 watts, a maximum current of 9.01 A and an average voltage of 226.56 Volts. Testing on one of the load channels obtaining a maximum power of 841.50 watts, a maximum current of 3.66 A. This test can be a reference for other load channels because it has the same design characteristics.</p> <p>Keywords— Internet of Things, electric load, monitoring, PZEM-004T, web server</p>

I. PENDAHULUAN

Penggunaan sumber energi *hybrid* pada umumnya terdapat kendala kapasitas dan durasi suplai energi yang terbatas, seperti misalnya pada sumber energi surya [1]. Dibutuhkan penyimpan energi seperti baterai dengan kapasitas yang cukup sebagai backup daya, dan biaya untuk mewujudkannya [2]. Oleh sebab itu penggunaan energi pada beban listrik perlu dibuat sistem monitoring dan pengendali

pada beban. Sebagai contoh pada penggunaan sumber energi *hybrid*, beban dapat dimonitoring dan dipilih sesuai kebutuhan, sehingga diharapkan sumber energi dapat menyuplai energi secara efektif tanpa mengubah kapasitas daya terpasang. Selain itu dengan menggunakan *automatic transfer switch* (ATS) secara otomatis dapat mengatur penggunaan sumber energi utama dari PLN ke energi lainnya seperti sumber energi terbarukan atau sebaliknya [3] [4]. Sistem *monitoring* penggunaan energi listrik dan pengendali

beban dapat dilakukan melalui perangkat PC atau smartphone dari mana saja dan kapan saja. Sistem ini bisa diterapkan pada beban rumah tinggal dengan berbasis *internet of Things* (IoT) [5]. Penggunaan sensor PZM-004T dapat memonitor tegangan, arus listrik dan daya dari perangkat atau beban [5], [6]. Pada penelitian sebelumnya, sistem monitoring daya dan pengendali beban menggunakan sensor PZM-04 digunakan untuk menyalakan (on) dan mematikan (off) perangkat rumah tangga seperti lampu, solder, setrika, dan kipas angin dengan daya maksimum 300 W berbasis IoT menggunakan Wifi [7], [8]. Sistem ini dapat digunakan untuk memonitor penggunaan listrik pada kamar kos menggunakan sensor PZM-004T[9], atau melakukan monitoring tegangan, arus, daya, dan faktor daya terhadap penggunaan perangkat elektronik [10]. Data pengukuran pada sistem monitoring dapat ditampilkan menggunakan aplikasi seperti blynk, raspberry 3B+ atau *virtual private server* (VPS) [8], [11]. Pada penelitian ini, sistem monitoring dan pengendali beban tidak hanya berfokus pada menyalakan atau mematikan perangkat saja, akan tetapi konsep ini dikembangkan seperti prinsip kerja pada panel hubung bagi (PHB) yang berbasis IoT sehingga dapat dimonitor dan dikendalikan penggunaan bebanya melalui *web server*. Pada PHB umumnya terdapat beberapa *mini circuit breaker* (MCB) untuk membagi beban listrik yang masih dikendalikan secara manual dan tidak dapat memonitor penggunaan listrik. Oleh karena itu dilakukan penelitian rancang bangun sistem monitoring dan pengendali beban listrik yang bertujuan untuk memonitor penggunaan listrik secara *real time* dan dapat mengendalikan beban dengan cara memilih *channel* beban mana yang dinyalakan atau dimatikan sesuai kebutuhan. Pada Gambar 1 dapat dilihat diagram blok sistem monitoring dan pengendali beban listrik berbasis IoT. Pada sumber listrik terdapat dua buah sumber seperti pada sumber energi *hybrid*, yang secara opsional dapat menggunakan sumber dari energi terbarukan



Gambar 1. Diagram blok monitoring dan pengendali beban listrik

Dari gambar 1 dapat dijelaskan bahwa sensor PZEM-04T dipasang pada jalur listrik utama yang terhubung dengan sumber, yang bertujuan dapat memonitoring penggunaan listrik pada beban. Kemudian jalur listrik dari sensor PZEM-04T terhubung ke modul *relay* yang terdiri dari 4 *channel* sebagai pembagi beban, sekaligus sebagai perangkat yang dapat menghubungkan atau memutus aliran listrik ke beban. *Modul relay* ini dikendalikan oleh

mikrokontroler ESP32 yang mendapat instruksi dari *web server* melalui jaringan internet Wifi.

II. LANDASAN TEORI

A. Energi dan Daya Listrik

Energi Listrik merupakan energi yang dihasilkan arus dan tegangan listrik yang dialirkan dari sumber ke beban listrik. Sumber energi listrik dapat berasal dari energi terbarukan atau konvensional. Penggunaan energi listrik telah banyak berkembang dan terus diupayakan efisiensi yang baik dalam pemanfaatannya. Satuan energi listrik adalah *watt-hour* (Wh) yang didapat dari daya listrik yang diserap dikali waktu (detik) seperti dalam persamaan (1), sedangkan daya listrik dapat dilihat pada persamaan (2).

$$W = P \times t \tag{1}$$

Dan daya listrik (P) adalah:

$$P = V \times I \tag{2}$$

Dengan W : Energi listrik (Wh)

t : waktu (detik)

P : Daya listrik (Watt)

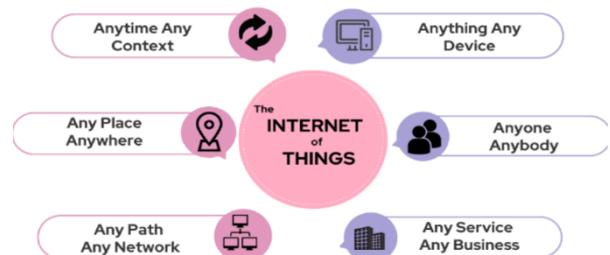
V : Tegangan (Volt)

I : Arus Listrik (Ampere)

Berbagai macam metode dikembangkan dalam penelitian terutama untuk penggunaan energi listrik yang efisien, seperti dapat dimonitoring pemakaiannya [3],[4]. Metode yang digunakan untuk sistem monitoring adalah berbasis *internet of Things* (IoT).

B. Internet of Things

Internet of Things (IoT) merupakan sistem terintegrasi antara perangkat atau divais yang dapat berkomunikasi atau mentransfer data yang terhubung pada software menggunakan sarana internet, *Bluetooth*, atau lainnya. Penggunaan IoT saat ini sangat berkembang dan banyak digunakan pada perangkat elektronik yang membutuhkan kendali atau monitoring jarak jauh. Perangkat pendukung dalam penggunaan IoT umumnya adalah Arduino atau modul ESP 32 yang dapat terhubung jaringan internet [3], [4], [7], [12]. Aplikasi IoT dalam kehidupan diantaranya seperti untuk sistem smart home, sensor, pertanian, dan pembangkitan energi[12], [13], [14]. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi dari konsep *internet of Things*.



Gambar 2. Ilustrasi konsep *internet of Things* [13]

C. Modul ESP32

Modul ESP32 merupakan perangkat mikrokontroler yang dapat terkoneksi jaringan internet WiFi 2,4 GHz dan

Bluetooth dengan daya rendah. Penggunaan ESP32 diantaranya adalah untuk aplikasi seluler dan internet of Things (IoT). ESP 32 juga memiliki fitur diantaranya *dual-core processor*, *integrated Wifi* dan *Bluetooth*, memiliki port input output (I/O) yang banyak, dan konsumsi daya yang rendah [15] Dalam penelitian ini penggunaan modul ESP 32 adalah sebagai divais mikrokontroler yang melakukan proses kendali ke *channel relay*, memroses input sensor, dan terkoneksi dengan Wifi agar user dapat diakses melalui *web server*.

D. Sensor PZEM-04T

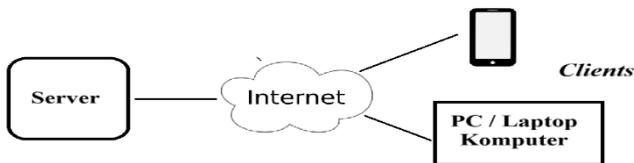
PZEM-004T merupakan sebuah modul atau perangkat elektronik berupa sensor pengukur tegangan, arus, frekuensi dan daya beserta faktor dayanya, juga dapat menghitung jumlah pemakaian energi listrik yang melewatinya. Perbandingan akurasi pembacaan sensor ini terhadap alat ukur multimeter didapat sekitar 99,7% [16] sehingga penggunaanya cukup dapat diandalkan. Dalam penelitian ini sensor PZEM-004T digunakan untuk membaca tegangan, arus, dan energi listrik pada beban, untuk kemudian mengirim datanya ke modul ESP 32. Data pembacaan tersebut menjadi acuan untuk monitoring. Gambar 3 menunjukkan bentuk sensor PZEM-004T.



Gambar 3. Sensor PZEM-004T

E. Web Server

Web Server merupakan *software* yang biasa memberikan layanan data yang mempunyai fungsi untuk menerima permintaan HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) atau HTTPS yang dikirim oleh pengguna melalui *web browser* kemudian mengirimkannya kembali dalam bentuk halaman web yang berbentuk HTML [17]. Ilustrasi arsitektur sebuah *web server* dapat dilihat pada Gambar 4.

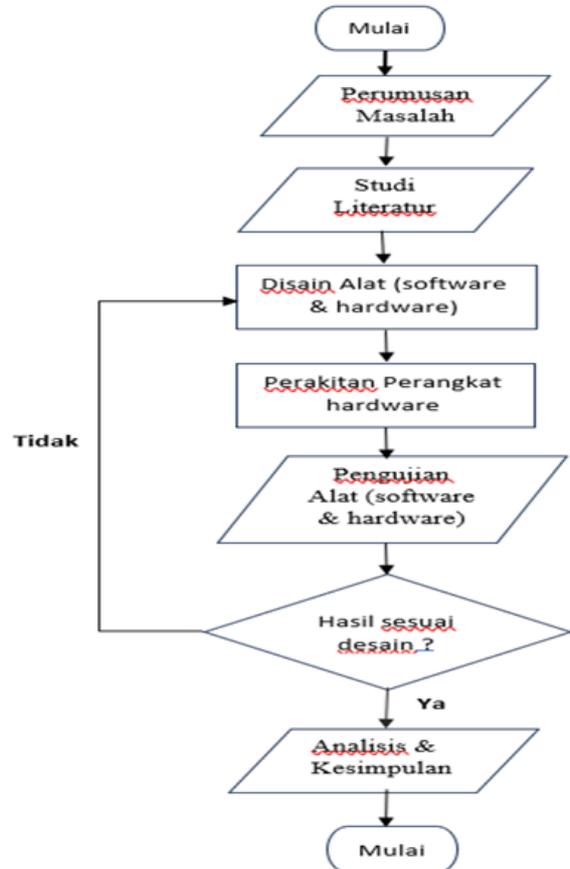


Gambar 4. Arsitektur web server

III. METODOLOGI PENELITIAN

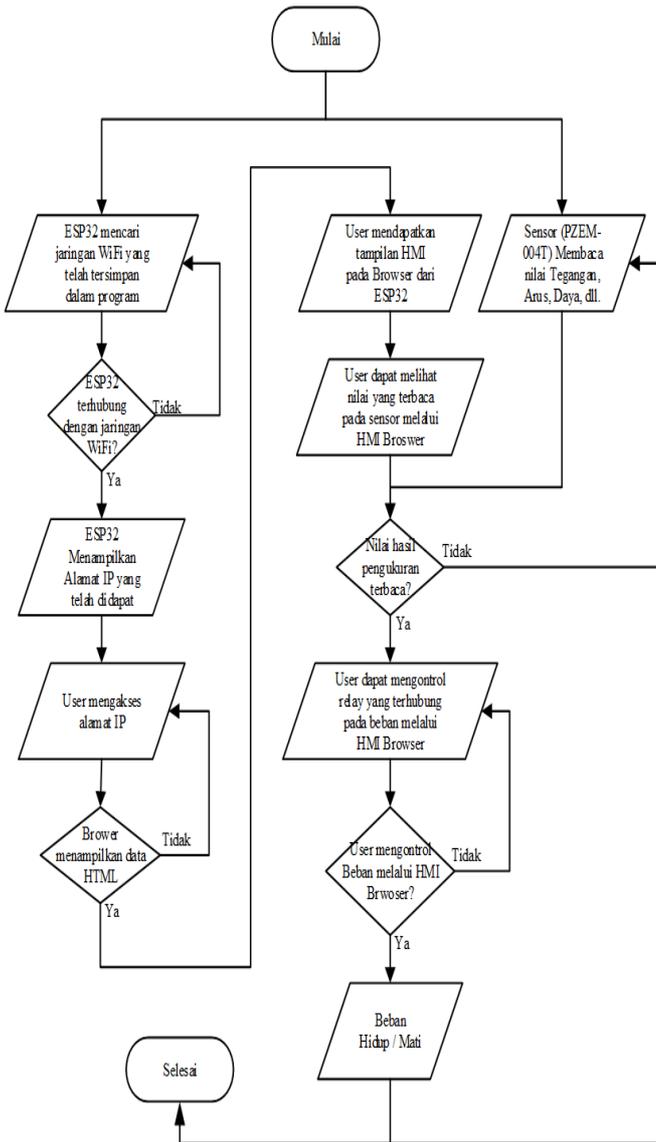
Pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap seperti dapat dilihat pada gambar 5. Dimulai dari perumusan masalah, studi literatur, desain alat keseluruhan mencakup *software* dan *hardware*, perakitan *hardware*, pengujian, hingga membuat analisis dan kesimpulan. Dimulai dengan perumusan masalah, yaitu bagaimana dapat membuat rancang bangun sistem monitoring dan pengendali beban listrik berbasis IoT yang dapat diterapkan pada panel listrik. Sistem ini diharapkan dapat diterapkan pada penggunaan sumber energi *hybrid*, karena memerlukan pembagian beban

secara efektif dan juga dapat dimonitor penggunaan energi listriknya



Gambar 5. Bagan alir penelitian

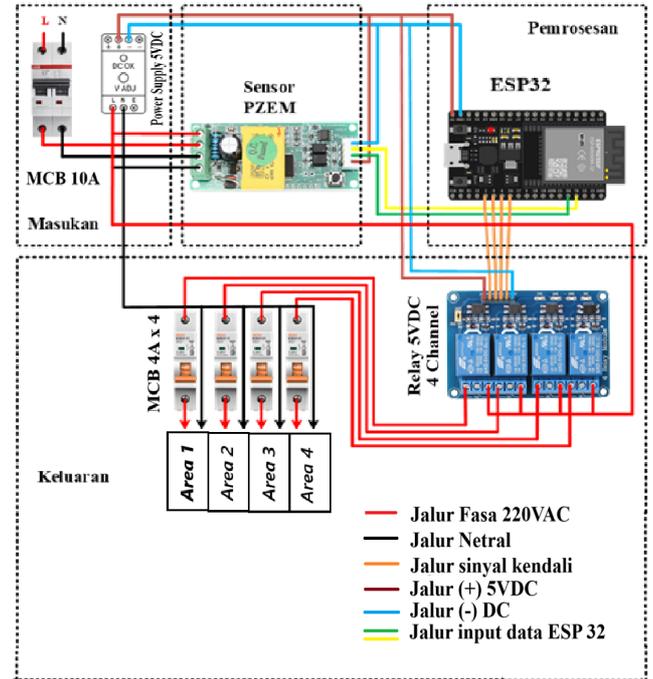
Studi literatur dilakukan dengan merujuk pada penelitian terkait, perkembangan penelitian terakhir, agar dapat dikembangkan menjadi penelitian yang memiliki kebaruan. Desain dilakukan mulai dari bagaimana cara kerja alat secara *software* dan *hardware*, komponen yang digunakan, dan karakteristik alat yang diinginkan hingga membuat rancang bangun alat. Uji coba rancangan dilakukan mengikuti hasil studi literasi serta kaidah-kaidah dalam dunia teknologi kelistrikan maupun uji coba dengan bantuan perangkat lunak komputer. Pemilihan tampilan pada monitoring menggunakan *web sever* dirancang agar tampilan mudah dimengerti pengguna. Pada perancangan sistem monitoring dan kendali menggunakan *web server*, antara sensor PZM-004T modul ESP32, dan alamat IP pada browser dirancang untuk saling terkait seperti yang dapat ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Bagan alir rancangan sistem monitoring dan pengendali beban dengan web server

Pada perancangan perangkat keras, dibuat dengan memperhatikan tingkat efisiensi serta efektifitas kinerja perangkat tanpa mengurangi risiko keselamatan kerja yang ada. MCB digunakan sebagai sistem proteksi arus listrik bolak-balik (alternating current) yang mengalir melewati sensor PZEM-004T sebelum dialirkan menuju power supply dan seluruh beban. Modul ESP32 digunakan untuk menerima informasi nilai pengukuran oleh PZEM-004T, kemudian informasi atau data tersebut akan dikelola sebelum ditransmisikan melalui jaringan internet untuk dikirim kepada pengguna atau klien sehingga klien dapat mengakses informasi tersebut melalui browser. Kemudian ESP32 juga dapat melakukan kendali perangkat berupa empat buah channel relay sebagai output. Relay-relay tersebut digunakan untuk mengoperasikan beban listrik yang terpasang. ESP32 akan mengendalikan keempat buah relay sesuai dengan permintaan klien melalui browser. Selain melayani permintaan dari klien, ESP32 juga dapat beroperasi secara otomatis apabila nilai penggunaan daya listrik yang digunakan melebihi nilai batas yang telah ditentukan melalui kode program pada modul ESP32. Untuk itu penggunaan alat atau sistem perangkat ini sangat berguna

jika dapat diimplementasikan kepada masyarakat maupun dunia industri sebagai langkah efisiensi energi listrik, Rancangan perangkat keras dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Rancangan perangkat keras alat.

Dari Gambar 7, pada sumber listrik terdapat dua buah sumber seperti pada sumber energi hybrid, yang secara opsional dapat menggunakan sumber dari energi terbarukan. Sensor PZEM-04 dipasang pada jalur listrik utama yang terhubung dengan sumber, yang bertujuan agar dapat memonitoring penggunaan listrik pada beban. Kemudian jalur listrik dari sensor PZEM-04 terhubung ke modul relay yang terdiri dari 4 channel sebagai pembagi beban, sekaligus sebagai perangkat yang dapat menghubungkan atau memutus aliran listrik ke beban. Modul relay ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang mendapat instruksi dari web server melalui jaringan internet Wifi. Pada tiap channel beban, dilengkapi MCB 4 A sebagai pengaman arus beban, karena pada penelitian ini tiap channel didisain dengan kapasitas daya 900 watt. Keempat channel ini terhubung ke jalur listrik utama melalui MCB 10 A, yang didisain dengan kapasitas total daya sebesar 2200 watt. Sensor PZEM-04 juga terhubung ke ESP32 untuk dapat mengirim data hasil monitoring berupa tegangan, arus, dan daya listrik yang kemudian diproses dan dapat diakses melalui web server.

Dalam perancangan perangkat lunak (software), diantaranya membuat pemrograman pada ESP 32 arduino, diantaranya membuat pemrograman pada ESP 32 arduino IDE, dan pemrograman untuk web menggunakan html dan css. Pemrograman ESP 32 bertujuan untuk dapat terkoneksi pada jaringan Wifi, menyinkronkan web server, melakukan pembacaan sensor PZM-04T, membuat tampilan dan melakukan kontrol beban ke channel relay. Pada gambar 8 dapat dilihat contoh penggalan program pada ESP32 yang dirancang, dan pada gambar 9 dapat dilihat pemrograman web menggunakan html.

```
#include "WiFi.h"
#include "ESPAsyncWebServer.h"
#include "SPIFFS.h"
#include <PZEM004Tv30.h>
PZEM004Tv30 pzem(Serial2, 16, 17);

const char* ssid = "Memento Mori";
const char* password = "monokrom";

const int Beban1 = 33;
const int Beban2 = 25;
const int Beban3 = 26;
const int Beban4 = 27;
bool Beban;
bool Reset;

String Sinyal1;
String Sinyal2;
String Sinyal3;
String Sinyal4;
String Sinyal;
String SinyalR;

AsyncWebServer server(80);

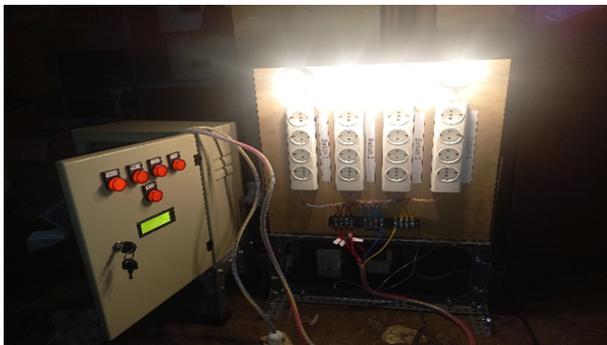
String getVoltage() {
  float Voltage = pzem.voltage();
  Serial.println(Voltage);
  return String(Voltage);
}
```

Gambar 8. Penggalan rancangan program pada ESP32

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>
      Oemah Kulo
    </title>
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1">
    <link rel="icon" href="data:">
    <link rel="stylesheet" href="style.css">
    <meta http-equiv="refresh" content="2">
  </head>
  <body>
    <div id="Header">
      <b>
        Universitas Krisnadwipayana<br>
        Fakultas Teknik<br>
        Teknik Elektro
      </b>
    </div>
    <div id="Sambutan">
      Selamat Datang di Oemah Kulo<br>
      Sistem Monitoring dan Pengendalian Daya Listrik<br>
      Untuk Hunian Anda
    </div>
    <div class="container">
      <div class="circle">
        <div class="content">
          <p>%Voltage%</p>
          <p>Volt</p>
        </div>
        <div class="subcontent">
          Tegangan
        </div>
      </div>
    </div>
  </body>
</html>
```

Gambar 9. Penggalan rancangan program web menggunakan html

Prototipe alat monitoring dan pengendali beban ini dapat dilihat pada gambar 10. Terlihat panel listrik yang terhubung pada empat jalur beban listrik sesuai dengan jumlah *channel relay* yang digunakan merepresentasikan keempat area beban listrik yang dapat dikendalikan.



Gambar 10. Prototipe alat monitoring dan pengendali beban listrik

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem monitoring dimulai dengan melihat hasil pembacaan sensor PZEM-004T, yaitu berupa tegangan, arus, dan daya. Pembebanan secara bertahap dimulai dari beban satu buah lampu hingga lima buah lampu halogen 500 W. Penggunaan lampu halogen ini untuk mengetahui pembebanan total *channel* secara bertahap dan mendapatkan hasil pembebanan yang sesuai, karena lampu halogen ini adalah beban resistif, diharapkan pembacaan daya adalah mendekati nilai daya nyatanya. Kelima beban itu dipasang pada 4 *channel* yang tersedia, karena kapasitas tiap *channel* dibatasi MCB 4 A. Pengukuran dilakukan di jalur utama MCB sebagai representasi total arus atau daya yang diserap oleh beban keseluruhan *channel* dilakukan menggunakan persamaan (2), dengan P adalah daya (Watt), V adalah tegangan AC (Volt), dan I adalah arus AC (A). Hasil perhitungan daya dilakukan untuk mengetahui perbandingan dengan pembacaan PZEM-004T. Hasil perhitungan dan monitoring daya dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil monitoring daya dan perhitungan nilai daya

Beban Listrik (Watt)	Hasil Monitoring PZEM-004T			Perhitungan Daya (W)
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	
1 buah Lampu 500W	231,9	1,83	422,60	424,84
2 buah Lampu 500W	229,4	3,65	835,60	836,85
3 buah Lampu 500W	226,2	5,51	1232,35	1239,57
4 buah Lampu 500W	225,6	7,35	1656,00	1656,13
5 buah Lampu 500W	221,9	9,01	1994,30	1990,89

Dari tabel 1, terlihat selisih nilai antara perhitungan dan pembacaan sensor PZEM-004T. Nilai tersebut bervariasi terhadap beban lampu. Kesalahan pembacaan ini lebih kecil jika dibanding penggunaan sensor arus dan tegangan secara terpisah, sebagai contoh menggunakan SCT 013-000 dan ZMPT101b [18]. Pada Gambar 11 dapat dilihat saat pengujian total beban lima buah lampu halogen 500 W.



Gambar 11. Pengujian sistem monitoring dengan total beban 5 buah lampu Halogen 500 W.

Pada Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan data hasil pengukuran pada salah satu *channel* dengan beban maksimum dua buah lampu karena kapasitas MCB tiap *channel* adalah 4 A. secara perhitungan dengan arus 4 A dan tegangan 220 V, maka nominal daya yang dapat dibebani adalah 880 watt. Sementara itu dua buah lampu memiliki nominal daya 1000 watt. Durasi pengujian adalah 150

menit dengan interval pengambilan data tiap 15 menit, tujuannya adalah mengetahui energi listrik yang digunakan dan ketahanan *channel* dalam menangani beban listrik.

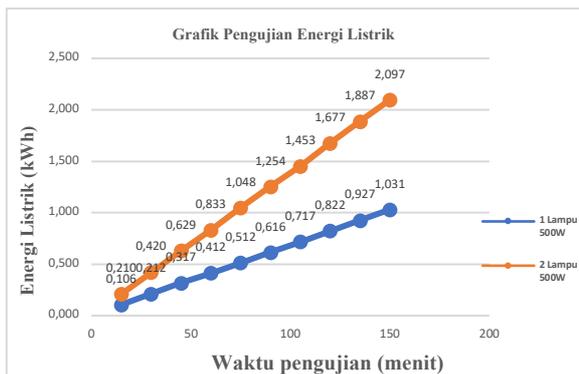
Tabel 2. Hasil monitoring beban 500 W pada *channel* 1

Beban Listrik (Watt)	Waktu (menit)	Pembacaan sensor PZEM-004T			Energi Listrik (kWh)
		Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)	
1 buah Lampu 500W	15	231,8	1,83	423,9	0,106
	30	231,5	1,83	423,0	0,212
	45	231,2	1,83	422,1	0,317
	60	227,9	1,83	412,4	0,412
	75	227,2	1,81	409,6	0,512
	90	227,6	1,80	410,5	0,616
	105	226,9	1,80	409,5	0,717
	120	227,5	1,80	411,2	0,822
	135	227,7	1,81	411,9	0,927
	150	228,0	1,81	412,5	1,031

Tabel 3. Hasil monitoring beban 1000 W pada *channel* 1

Beban Listrik (Watt)	Waktu (menit)	Pembacaan sensor PZEM-004T			Energi Listrik (kWh)
		Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya (Watt)	
2 buah Lampu 500W	15	229,5	3,66	839,97	0,210
	30	229,6	3,66	840,34	0,420
	45	229,3	3,66	839,24	0,629
	60	228,2	3,65	832,93	0,833
	75	229,1	3,66	838,51	1,048
	90	229,0	3,65	835,85	1,254
	105	227,5	3,65	830,38	1,453
	120	229,1	3,66	838,51	1,677
	135	229,1	3,66	838,51	1,887
	150	229,2	3,66	838,87	2,097

Dari hasil pada tabel 3 dan tabel 4 diketahui energi listrik yang diserap beban dan nilai tegangan, arus, dan daya, yang pada tiap *channel*. Data ini juga dapat direpresentasikan sebagai karakteristik pada tiga buah *channel* yang lainnya, karena pada dasarnya ketiga *channel* lainnya memiliki disain dan kapasitas yang sama, terutama pada penggunaan pembatas arus MCB 4 A. Diketahui pada sebuah *channel* mampu diberi beban hingga 841,5 W, ini menunjukkan bahwa pembagi beban tiap *channel*nya cukup untuk menyuplai daya untuk area yang berbeda. Misalkan pada rumah tinggal, dengan sumber energi *hybrid* dapat mengendalikan beban pada area rumah tersebut agar penggunaan daya cukup efektif dan tidak membebani penyimpanan baterai yang biasanya memiliki kapasitas dan durasi *backup* terbatas. Atau dapat diintegrasikan dalam *smart home system* dengan pengendali beban [19]. Secara grafik dapat dilihat pada gambar 12, yang menjelaskan energi listrik yang mampu diserap melalui *channel* beban.



Gambar 12. Grafik energi listrik pada pembebanan *channel*

Untuk akurasi pembacaan tegangan, arus beban dan daya terhadap penggunaan beban dilakukan pengujian dengan membandingkan hasil pembacaan sensor PZM-004T dengan pengukuran menggunakan *multitester*. Untuk menghitung tingkat kesalahan pembacaan atau *error* menggunakan persamaan (3).

$$\frac{|Data\ PZEM - Data\ multitester|}{Data\ multitester} \times 100\% \quad (3)$$

Hasil selisih pembacaan tegangan, arus, dan daya Listrik dapat dilihat dalam tabel 4, tabel 5, dan tabel 6. Untuk hasil perhitungan nilai daya listrik dilakukan dengan membandingkan perhitungan menggunakan persamaan (2) terhadap pembacaan sensor. Pengujian dilakukan dengan penambahan beban bertahap hingga mencapai kapasitas daya maksimum.

Tabel 3. Hasil pengukuran tegangan dan tingkat kesalahan pembacaan sensor

Beban Listrik (Watt)	Tegangan (Volt)		Selisih pembacaan	Tingkat Kesalahan
	Multitester	PZM-004T		
1 Lampu 500W	231,9	231,3	0,6	0,26%
2 Lampu 500W	229,4	228,9	0,5	0,22%
3 Lampu 500W	226,2	226,0	0,2	0,09%
4 Lampu 500W	225,6	225,2	0,4	0,18%
5 Lampu 500W	221,9	221,4	0,5	0,23%

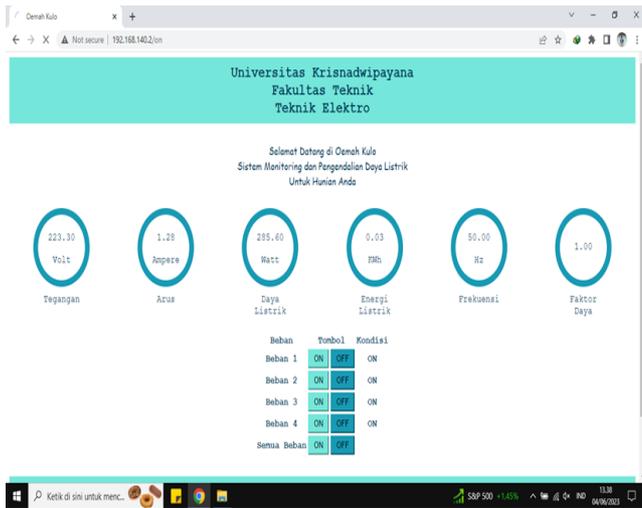
Tabel 4. Hasil pengukuran Arus dan tingkat kesalahan pembacaan sensor

Beban Listrik (Watt)	Arus (A)		Selisih pembacaan	Tingkat Kesalahan
	Multitester	PZM-004T		
1 Lampu 500W	1,832	1,830	0,002	0,10%
2 Lampu 500W	3,648	3,650	0,002	0,05%
3 Lampu 500W	5,480	5,510	0,030	0,54%
4 Lampu 500W	7,341	7,350	0,009	0,12%
5 Lampu 500W	8,972	9,010	0,038	0,42%

Tabel 5. Perbandingan Tingkat kesalahan pembacaan Daya.

Beban Listrik (Watt)	Daya (W)		Selisih pembacaan	Tingkat Kesalahan
	Perhitungan	PZM-004T		
1 Lampu 500W	424,84	422,60	2,24	0,53%
2 Lampu 500W	836,85	835,60	1,25	0,15%
3 Lampu 500W	1239,57	1232,35	7,22	0,58%
4 Lampu 500W	1656,13	1656,00	0,13	0,01%
5 Lampu 500W	1990,89	1994,30	3,41	0,17%

Kemudian untuk kendali beban dapat menggunakan *web server* dengan tampilan seperti pada gambar 13. Dapat dilihat tampilan pilihan *channel* beban mulai dari 1 sampai dengan 4 yang merepresentasikan pembagi beban area 1 sampai 4 (lihat gambar 1) dan satu menu pilihan untuk mengaktifkan semua *channel* beban. Pengguna dapat menyalakan atau mematikan *channel* dengan *click* pada menu *on* atau *off* sesuai dengan nomer *channel* beban yang diinginkan. Kemudian hasil *monitoring* dapat dilihat pada bagian lingkaran sesuai dengan keterangannya.



Gambar 13. Tampilan menu untuk pengendali channel beban.

V. KESIMPULAN

Desain monitoring dan pengendali beban listrik ini dapat memonitoring penggunaan energi listrik, daya listrik, arus, dan tegangan listrik dan dapat mengendalikan beban listrik AC yang terbagi menjadi 4 channel beban, sehingga dapat secara selektif memilih beban mana saja yang digunakan atau tidak secara efektif. Alat ini menggunakan sensor PZM-004T berbasis IoT yang dapat diaplikasikan pada penggunaan sumber energi hybrid dengan daya maksimum mencapai 1994,30 watt. Dengan adanya 4 buah channel pembagi, maka tiap channel beban dapat menyuplai daya pada area yang berbeda dengan daya rata-rata 837,56 watt pada tiap channelnya. Energi listrik yang didapat pada satu buah channel adalah 2,097 kWh dengan dua buah lampu dan durasi pengujian 150 menit. Kemudian tiap channel ini juga dapat dikendalikan melalui web server menggunakan PC untuk seleksi area atau jumlah beban yang diinginkan melalui browser berdasarkan kode program pada mikrokontroler ESP32. Dengan memilih tombol on atau off yang tersedia pada tampilan web server, pengguna sudah dapat mengendalikan pembagi beban listrik ke tiap area.

REFERENSI

[1] Didik Riyanto, Moh Muhsin, and Jawwad Shulton Habiby, "Penerapan PLTS 200 WP Pada Rumah Hunian Masyarakat Pedesaan Sebagai Listrik Hybrid ", SinarFe7, vol. 5, no. 1, pp. 21–27, Dec. 2022.

[2] T. M. Putri and U. T. Kartini, "Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid untuk Skala Rumah Tangga", JTE, vol. 14, no. 1, pp. 16–22, Jul. 2024.

[3] M. F. Pela and R. Pramudita, "SISTEM MONITORING PENGGUNAAN DAYA LISTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA RUMAH DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI BLYNK," Infotech: Journal of Technology Information, vol. 7, no. 1, pp. 47–54, Jun. 2021, doi: 10.37365/jti.v7i1.106.

[4] K. Hamamni, M. Mukhsim, and D. Siswanto, "Prototipe Sistem Monitoring Biaya Penggunaan Listrik Pada Rumah Kos Berbasis IoT," JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering, vol. 1, no. 02, pp. 35–46, Feb. 2021, doi: 10.31328/jasee.v1i02.12.

[5] Moh. R. Imawan, Y. A. Suryo, and D. Irawan, "Rancang Bangun Pencatatan Data Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Berbasis IoT (Internet of Things)," Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM), vol. 5, no. 2, pp. 162–172, Aug. 2023, doi: 10.32528/elkom.v5i2.19307.

[6] R. Risfendra, G. F. Ananda, and A. Stephanus, "Internet of Things on Electrical Energy Monitoring Using Multi-Electrical Parameter Sensors," MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, Jan. 2021, doi: 10.46574/motivection.v3i1.79.

[7] I. SAFRIL HUDAN and T. RIJANTO, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK PADA KAMAR KOS BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)", JTE, vol. 8, no. 1, Oct. 2018.

[8] M. Hayaty and A. R. Mutmainah, "IoT-Based electricity usage monitoring and controlling system using Wemos and Blynk application," Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, vol. 7, no. 4, pp. 161–165, Oct. 2019, doi: 10.14710/jtsiskom.7.4.2019.161-165.

[9] Lulu Sabillah and R. Hidayat, "Sistem Monitoring Pemakaian Energi Listrik Pada Kamar Kost Menggunakan Aplikasi Blynk Berbasis Internet of Things," Jurnal Komputer dan Elektro Sains, vol. 1, no. 2, pp. 25–29, Aug. 2023, doi: 10.58291/komets.v1i2.104.

[10] A. B. Lasera and I. H. Wahyudi, "Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik berbasis IoT ESP32 pada Smart Home System," Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education), vol. 5, no. 2, pp. 112–120, Dec. 2020, doi: 10.21831/elinvo.v5i2.34261.

[11] I. Made et al., "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PANEL LISTRIK DAN KONTROL LISTRIK KOS BERBASIS IOT," vol. 2, no. 1, 2022, [Online]. Available: https://ejournal.catuspata.com/index.php/jkdn/index

[12] M. M. F. Fatori, "Aplikasi IoT Pada Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik," Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer, vol. 2, no. 02, pp. 350–356, Oct. 2022, doi: 10.47709/jpsk.v2i02.1746.

[13] Anggy Giri Prawiyogi and Aang Solahudin Anwar, "Perkembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Energi : Sistematis Literatur Review," Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan dan Teknologi Informasi, vol. 1, no. 2, pp. 187–197, Jan. 2023, doi: 10.34306/mentari.v1i2.254.

[14] L. Aditya and R. Prasetyo Adi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro Untuk Sistem Penerangan Jalan Umum 50Watt Berbasis Bluetooth HC-05," Jurnal Elektro, Vol 12, No.2, pp 113 – 119 Aug 2024.

[15] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," Sensors, vol. 23, no. 15, Aug. 2023, doi: 10.3390/s23156739.

[16] M. Faisal Majid, Isdawimah, and Nuha Nadhiroh, "Pengujian Kinerja Sensor PZEM-004 & PZEM-017 Pada Sistem PLTS", SNTE, vol. 10, no. 1, pp. 88–92, Sep. 2024.

[17] S. Pengendali, P. Listrik, D. P. Daya, L. Berbasis, and W. S. Nor, "Penerapan Internet Of Things (IoT)." EEICT, Vol 2, No.2, 2019 [Online]. Available: https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/eeict

[18] A. Juwito, D. Diono, and M. Jihad, "Design a Prototype Monitoring System and Data Logging for 3-Phase Electrical Systems," European Alliance for Innovation n.o., Jul. 2023. doi: 10.4108/eai.5-10-2022.2327860.

[19] R. B. S. Bayu, R. P. Astutik, and D. Irawan, "RANCANG BANGUN SMARTHOME BERBASIS QR CODE DENGAN MIKROKONTROLLER MODULE ESP32," JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering, vol. 2, no. 01, pp. 47–60, Apr. 2021, doi: 10.31328/jasee.v2i01.60.