


RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING* DAN *CONTROLLING* PENGGUNAAN DAYA LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN ESP32 DAN APLIKASI TELEGRAM

Muhammad Afnan Asyhar¹, Rizki Nurilyas Ahmad, S.T., M.T.²

¹Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah 57169 Indonesia

 Email korespondensi: muhafnan125@gmail.com

Abstrak. Perkembangan teknologi pada era modern memberikan kemudahan dalam berbagai aktivitas, termasuk dalam hal monitoring dan pengendalian penggunaan daya listrik rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan controlling penggunaan listrik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan aplikasi Telegram. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau serta mengontrol penggunaan listrik secara jarak jauh melalui bot Telegram. Selain itu, sistem juga mampu memberikan notifikasi otomatis melalui smartphone apabila terjadi arus lebih serta ketika tegangan turun melebihi 10% atau naik lebih dari 5% dari nilai normal. Sensor PZEM-004T digunakan sebagai alat pemantau parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, energi, faktor daya, dan frekuensi. Modul ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang mengendalikan sistem, sedangkan konektivitas internet disediakan oleh modem WiFi USB. Sistem juga dilengkapi dengan baterai sebagai cadangan daya. Kontrol beban dilakukan menggunakan modul relay yang dapat diaktifkan atau dinonaktifkan melalui perintah Telegram. Hasil kalibrasi sensor terhadap alat ukur power analyzer menunjukkan tingkat galat yang rendah, dengan rata-rata galat tegangan sebesar 0,13%, arus 0,81%, faktor daya 4,52%, daya 3,12%, dan energi 2,07%. Enam relay yang diuji merespons perintah dengan baik, dengan rata-rata waktu respons 2,52 detik. Selama pengujian tiga hari, sistem berjalan dengan baik tanpa kendala, dan mencatat konsumsi energi sebesar 1,625 kWh.



Kata kunci: Pemantauan, Mengendalikan, Pzem-004T, Daya listrik, Internet Of Things.

PENDAHULUAN

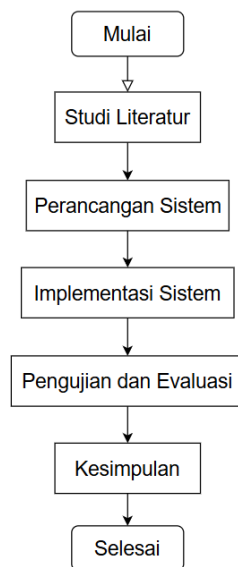
Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok untuk manusia. Setiap hari manusia membutuhkan energi listrik untuk menjalani kehidupan sehari-hari. Hampir setiap teknologi baru yang muncul pasti menggunakan energi listrik untuk menggunakannya. Setiap pekerjaan manusia juga menggunakan peralatan-peralatan yang membutuhkan energi listrik. Listrik tidak bisa dipisahkan dari kehidupan manusia sehari-hari. Jika terjadi gangguan listrik maka peralatan yang menggunakan listrik akan terganggu juga, dan menghambat pekerjaan yang menggunakan peralatan listrik [1]. Jumlah konsumen listrik Indonesia setiap tahun meningkat menurut badan pusat statistik Indonesia, peningkatan jumlah konsumen tersebut kebanyakan aspek rumah tangga. Masih banyak konsumen listrik rumah tangga yang kurangnya pengetahuan tentang penggunaan listrik yang benar, membuat meningkatnya tagihan listrik. Tapi sekarang PLN sudah menggunakan kWh meter digital. Dimana konsumen harus membeli pulsa listrik terlebih dahulu untuk menggunakan listrik, diharapkan konsumen dapat mengontrol penggunaan listrik sesuai keperluan yang dibutuhkan. Kita juga bisa melihat sisa energi listrik yang dapat digunakan melalui panel kWh meter digital [2]. Dalam penelitian ini menggunakan teknologi internet of things (IoT), Penggunaan teknologi IoT dalam rumah tangga masih jarang digunakan karena terbatas teknologi dalam masyarakat Indonesia. Teknologi IoT ini dapat digunakan untuk monitoring daya listrik secara langsung lewat smartphone dan dimana saja. Di sini peneliti menggunakan sensor PZEM004T untuk mengukur arus, tegangan, daya, faktor daya dan energi listrik yang dipakai dalam rumah. Di dalam kWh meter digital sebenarnya juga sudah ada untuk mengukur arus dan tegangan. Tetapi kita harus melihat lewat kWh meter digital langsung. Oleh karena itu membuat alat monitoring dan controlling daya listrik rumah lewat smartphone, untuk bertujuan memberikan informasi pemakaian daya listrik dirumah [3]. Sistem monitoring dan pengendalian penggunaan daya listrik skala rumah tangga bertujuan mengurangi pemborosan dan lonjakan tagihan listrik. Sistem ini memanfaatkan teknologi internet of things (IoT) untuk memantau dan mengendalikan konsumsi listrik secara real-time melalui smartphone. Dengan mengintegrasikan modul ESP32 dan sensor PZEM-004T [4]. Sistem ini digunakan untuk mengukur konsumsi daya listrik yang dapat dipantau dari jarak jauh dan dikirim melalui aplikasi telegram pada smartphone. Sistem alat ini untuk mengetahui bagaimana konsumsi energi listrik dapat dipantau dan dikendalikan melalui aplikasi berbasis smartphone [5]. Modul sensor PZEM004T dipilih karena kemampuannya mengukur tegangan, arus, daya secara



bersamaan dengan tingkat akurasi yang cukup baik [6]. 2 Sistem monitoring dan controlling penggunaan daya listrik rumah tangga ini berfungsi mengirimkan data konsumsi listrik dengan mengukur arus, tegangan, daya, faktor daya, dan energi. Parameter yang diukur oleh sensor dikirimkan ke mikrokontroler ESP32, kemudian data tersebut dikirim melalui koneksi wifi ke aplikasi telegram [7]. Internet of things (IoT) adalah sistem yang menggabungkan ilmu komputer dan elektronik. Memungkinkan satu atau lebih objek berkomunikasi melalui jaringan internet. IoT dilengkapi dengan mikrokontroler dan sensor yang terhubung serta terintegrasi dengan aplikasi atau perangkat lunak, sehingga memungkinkan terjadi komunikasi dan interaksi antar objek. Objek tersebut bisa berupa perangkat, manusia, hewan, atau objek fisik lainnya [8]. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring dan kontrol penggunaan daya listrik skala rumah tangga secara jarak jauh. Permasalahan yang diangkat meliputi cara memantau daya listrik menggunakan sensor PZEM004T, merancang sistem kontrol jarak jauh dengan relay, serta menghubungkan sistem tersebut ke smartphone melalui aplikasi Telegram. Tujuannya adalah menghasilkan sistem berbasis IoT yang mampu membaca parameter listrik (tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi), mengirimkan data ke Telegram, serta mengendalikan beban listrik dari jarak jauh. Batasan penelitian ini meliputi penggunaan sensor PZEM004T, mikrokontroler ESP32, modul enam relay, dan aplikasi telegram untuk skala rumah tangga.

METODE

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1 dan dijelaskan dalam uraian berikut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



1. Studi literatur
Merupakan tahapan untuk pengumpulan referensi atau jurnal-jurnal yang relevan dengan judul penelitian. Memahami penelitian sebelumnya untuk sebagai acuan menganalisa tugas akhir.
2. Perancangan sistem
Perancangan sistem monitoring dan controlling penggunaan daya listrik rumah tangga dengan membuat diagram blok sistem, diagram alir sistem, skematik rangkaian.
3. Implementasi sistem
Melakukan perakitan komponen seperti sensor, mikrokontroler, dan relay, memprogram mikrokontroler untuk membaca data sensor dan mengirimkan ke telegram, ujicoba integrasi antara sistem monitoring dan controlling.
4. Pengujian dan evaluasi
Melakukan pengujian sistem yang telah dirancang dan diimplementasikan berfungsi dengan baik sesuai perancangan sistem. Pengujian ini berupa pembacaan sensor, konektivitas jaringan, controlling, dan akurasi data. Evaluasi hasil pengujian dan perbandingan dengan alat ukur sesuai standar.
5. Kesimpulan
Menyimpulkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem alat monitoring dan controlling penggunaan daya listrik rumah tangga.

Pada sistem kelistrikan arus bolak-balik (AC) dikenal adanya tiga macam jenis daya, yaitu daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu. Daya nyata (P) merupakan daya yang muncul akibat adanya beban linier atau resistif, sedangkan daya reaktif (Q) muncul akibat adanya beban non-linier atau beban reaktif (bersifat induktif, dan/atau kapasitif). Daya semu (S) merupakan penjumlahan secara vektor dari daya nyata dan daya reaktif. Hubungan ketiga daya tersebut dirumuskan secara matematis berturut-turut pada persamaan (1), (2), dan (3). Energi merupakan integral dari daya pada rentang waktu tertentu. Konsumsi energi pada besaran daya yang sama pada rentang waktu tertentu dapat dirumuskan sebagai perkalian antara daya nyata dan waktu sebagaimana pada persamaan (4) [9].

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (1)$$

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2)$$

$$S = V \times I \quad (3)$$



$$W = P \times t$$

(4)

Dimana,

P = daya aktif (Watt)

Q = daya reaktif (VAR)

S = daya semu (VA)

V = tegangan listrik (V)

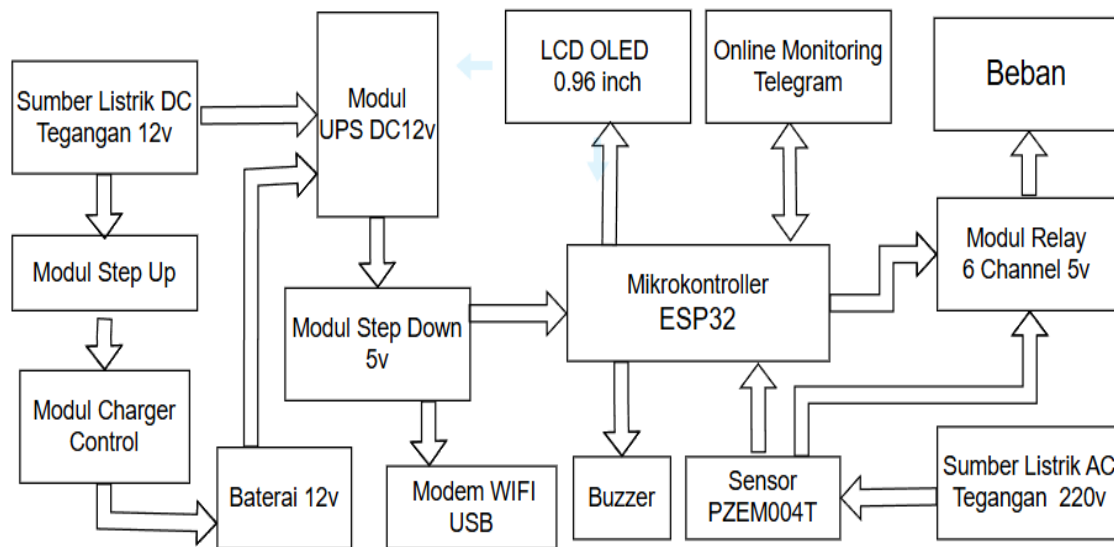
I = arus listrik (A)

$\cos \varphi$ = faktor daya

W = energi (watt hour (Wh))

t = waktu (hour (h))

Dalam perancangan sistem ini, peneliti membuat blok diagram sistem, diagram alir sistem, dan wiring diagram sistem. Berikut adalah gambaran sistem yang akan dibuat.

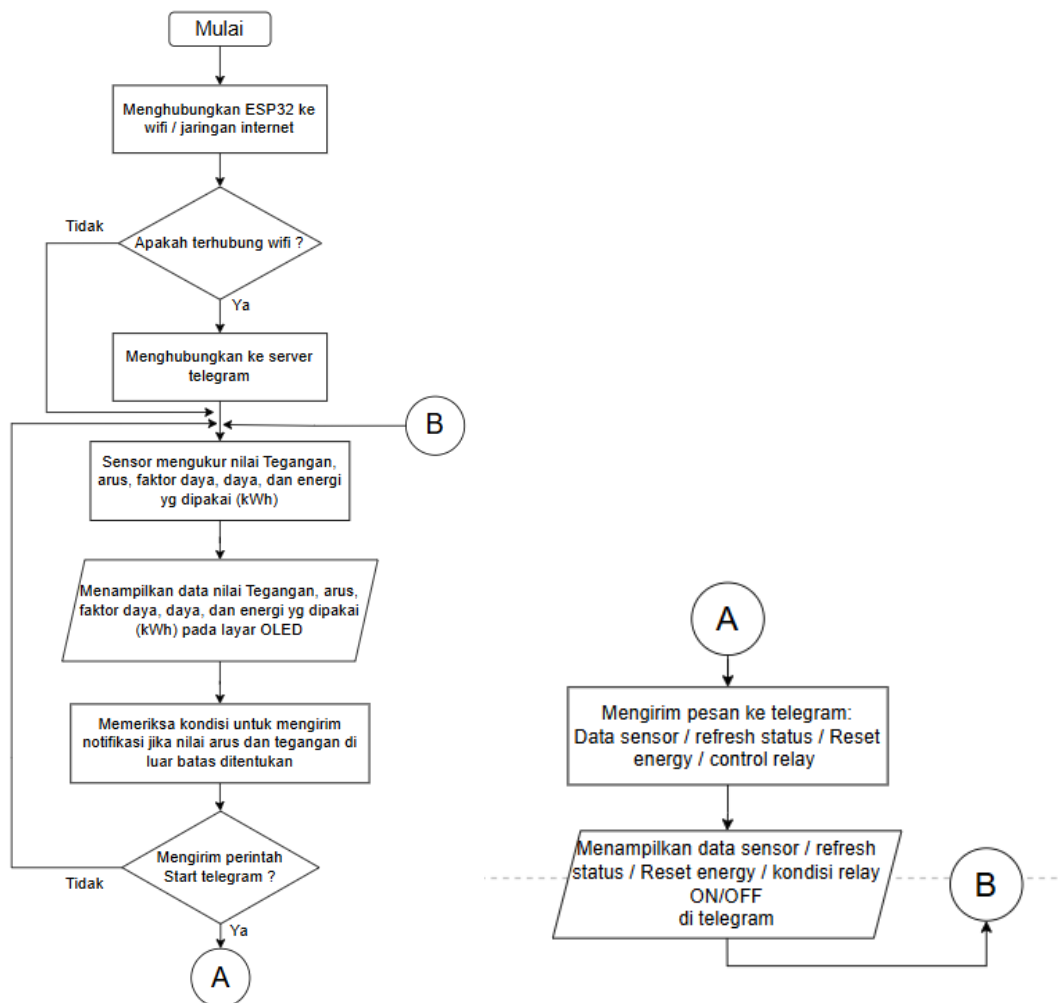


Gambar 2. Diagram blok sistem

Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem yang menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk pusat pengendalian sistem. Sistem ini menggunakan sumber listrik DC 12v yang dialirkan ke dua jalur, yaitu ke modul ups DC 12v dan ke modul step up, yang kemudian diteruskan ke modul pengatur pengisian daya listrik baterai. Baterai berfungsi sebagai



sumber listrik cadangan saat terjadi pemadaman listrik. ESP32 dan modem wifi memperoleh pasokan listrik tegangan 5v dari modul stepdown. ESP32 menerima data dari sensor PZEM 004T yang terhubung ke sumber listrik AC 220v, data yang diterima berupa parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi. Selanjutnya ESP32 menampilkan data tersebut ke layar Oled 0,96 inch dan serta mengirimkan secara online melalui jaringan internet dengan menggunakan modem wifi untuk dikirimkan ke aplikasi telegram sebagai media *monitoring* jarak jauh. Fungsi buzzer disistem alat ini akan berbunyi selama 7 detik jika nilai tegangan atau arus diluar batas ketentuan. Selain fungsi *monitoring*, ESP32 juga mengendalikan modul relay 6 channel 5v yang berfungsi untuk mengatur aliran listrik ke beban.

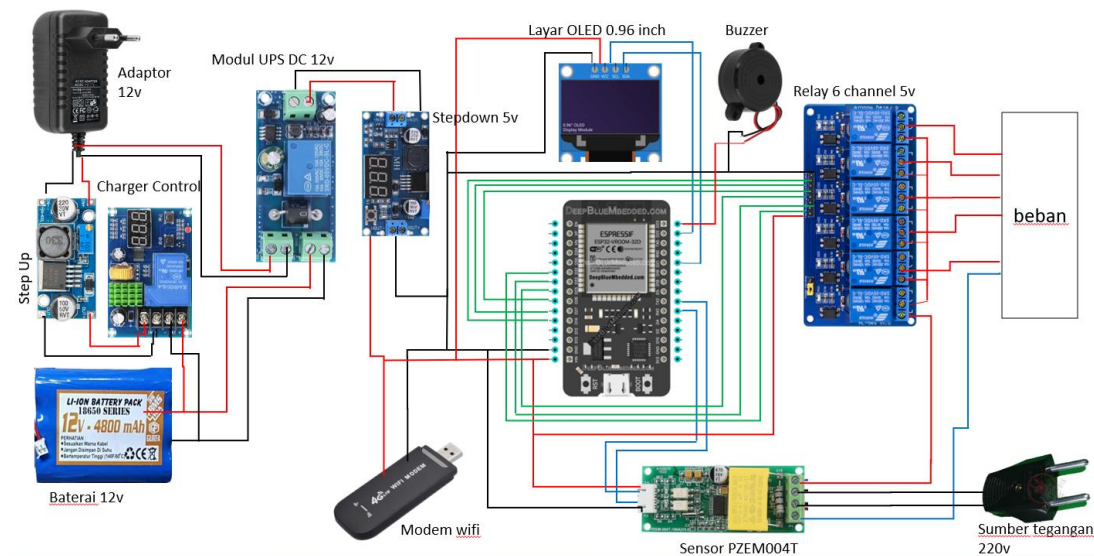


Gambar 3. Diagram alir sistem

Gambar 3 menunjukkan alur cara kerja sistem *monitoring* dan *controlling* menggunakan daya listrik rumah menggunakan mikrokontroller ESP32. Ketika sistem diaktifkan, maka



ESP32 akan menghubungkan jaringan internet ke modem wifi. Jika wifi terhubung maka akan terhubung ke server telegram yang digunakan *monitoring* dan *controlling*, dan jika wifi tidak terhubung ke ESP32 data sensor masih bisa ditampilkan dilayar oled. Selanjutnya sensor akan mengukur parameter nilai tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi. Data sensor parameter tersebut akan dikirim ke ESP32 lalu ditampilkan ke layar Oled 0,96 inch. Selanjutnya apakah ESP32 akan mendeteksi nilai tegangan lebih dari 5% dan kurang dari 10% terhadap tegangan nominal 220V, sesuai dengan peraturan PLN variasi tegangan pelayanan maksimum +5% dan minimum -10% terhadap tegangan nominal [10], dan juga mendeteksi nilai arus apakah melebihi batas ketentuan yaitu batas maksimal 4A. Jika terdeteksi nilai tegangan dan arus diluar batas ketentuan maka ESP32 akan mengirimkan notifikasi ke telegram, untuk contoh notifikasi telegram lewat *smartphone* bisa dilihat digambar 11 dan 12. *Monitoring* dan *controlling* sistem alat ini tinggal mengirimkan pesan lewat telegram, ada beberapa instruksi pesan telegram antaranya meminta data sensor, refresh status relay, reset energi yang digunakan, dan mengontrol modul relay 6 channel. Jika berhasil mengirimkan instruksi ke sistem maka sistem akan membalas pesan ke telegram juga. Sensor akan terus mengukur parameter listrik setiap 2 detik sekali dan mengirimkannya ke layar oled.



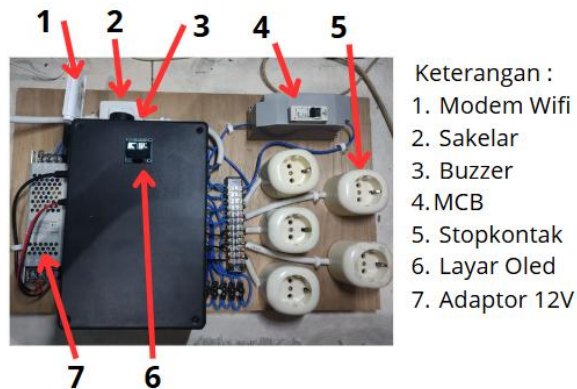
Gambar 4. Wiring diagram sistem

Gambar 4 merupakan rangkaian *hardware* alat yang akan dibuat, yang merupakan hasil implementasi dari diagram blok sistem pada gambar 2 dalam bentuk wiring diagram. Rangkaian hardware ini berfungsi sebagai perencanaan penyusunan komponen alat serta panduan dalam proses penggabungan antar komponen. Pada sistem ini menggunakan menggunakan adaptor 12V dua jalur, yaitu jalur satu terhubung langsung ke modul ups

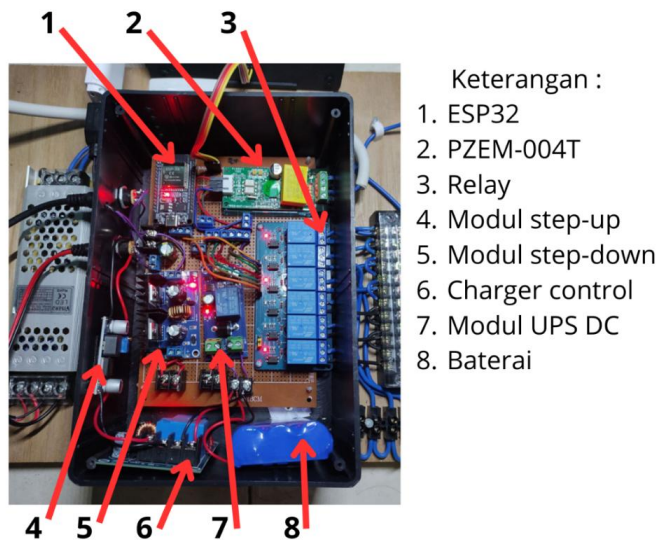


dan jalur dua terhubung ke modul step up lalu ke modul *charger control*. Selanjutnya dari modul ups arus listrik dialirkan ke modul step-down untuk menurunkan tegangan 12V ke 5V. Tegangan 5V tersebut digunakan untuk mensuplai sistem utama yang beroperasi pada tegangan 5V. Sementara itu, sumber tegangan AC 220V masuk ke sensor PZEM-004T untuk dilakukan pengukuran parameter kelistrikan, keluar dari sensor kemudian dialirkan ke modul relay sebelum diteruskan ke beban.

HASIL



Gambar 5. Box alat monitoring



Gambar 6. Rangkaian elektronika

Gambar 5 dan 6 merupakan hasil realisasi alat dari rancang bangun alat monitoring penggunaan daya listrik skala rumah tangga berbasis *internet of things* menggunakan esp32 dan aplikasi telegram. Sesuai perencanaan, alat bisa digunakan monitoring penggunaan daya listrik secara real time melalui layar Oled dan aplikasi telegram.



```

1 #include <WiFi.h>
2 #include <WiFiClientSecure.h>
3 #include <UniversalTelegramBot.h>
4 #include <ArduinoJson.h>
5 #include <PZEM004Tv30.h>
6 #include <Adafruit_GFX.h>
7 #include <Adafruit_SSD1306.h>
8 #include <Preferences.h>
9 Preferences preferences;
10
11
12 float energyOffset = 0.0;
13
14
15 // --- WIFI & TELEGRAM ---
16 const char* ssid = "WIFI";
17 const char* password = "12121212";
18 #define BOT_TOKEN "7781359415:AAFbYaMX9WewoFwVVE3BZDUgLVlWQnk_I4"
19 #define CHAT_ID "1426349400"
20
21 WiFiClientSecure client;
22 UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, client);
23 unsigned long lastTimeBotRan;
24
25 // --- BUZZER SETTINGS ---
26 #define BUZZER_PIN 23
27 bool buzzerMenyala = false;
28 unsigned long buzzerStartTime = 0;
29
30 // --Wifi Setting
31 bool wifiConnected = false;
32 bool preferencesLoaded = false;

```

Gambar 7. Cuplikan script program

Gambar 7 menunjukkan cuplikan script program arduino untuk mikrokontroler ESP32 yang ditulis menggunakan Arduino IDE, yang digunakan dalam sistem *monitoring* dan *controlling* penggunaan daya listrik skala rumah tangga. Kode ini memuat sejumlah pustaka yang mendukung koneksi wifi, komunikasi dengan bot telegram, pembacaan data sensor energi PZEM-004T, serta pengendalian tampilan Oled. Selain itu terdapat pengaturan terkait jaringan wifi, token dan ID Telegram, serta konfigurasi pin untuk buzzer. Kode ini juga mencakup variabel-variabel yang berfungsi untuk menyimpan status koneksi, preferensi pengguna, dan pengaturan waktu buzzer secara sistematis.

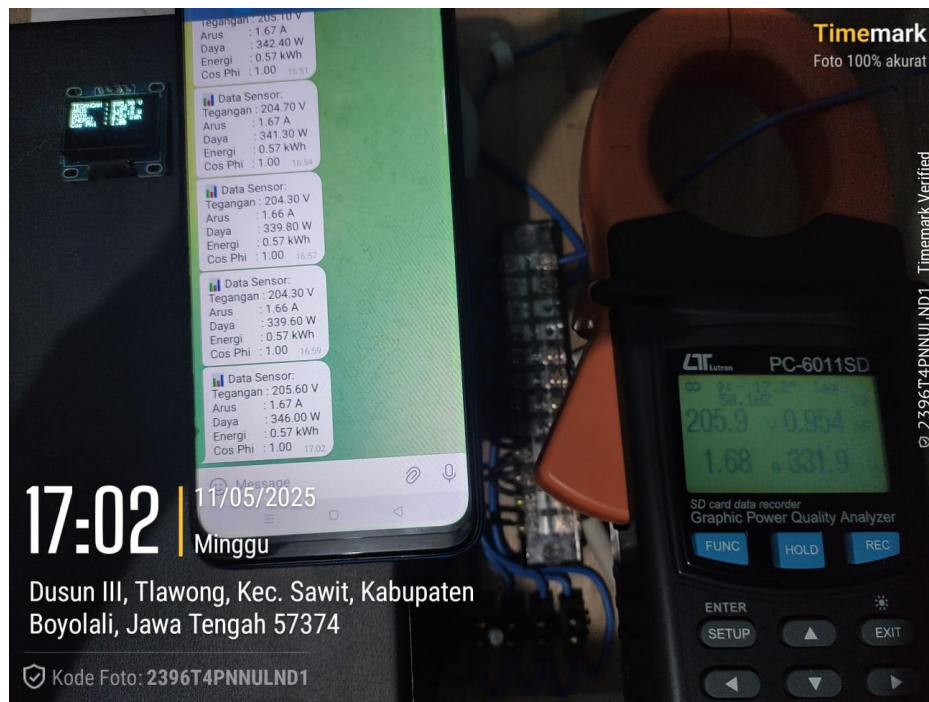
Kalibrasi sensor dengan alat ukur

Kalibrasi sensor ini digunakan untuk mengecek apakah pembacaan sensor sesuai dengan alat ukur. Alat ukur yang digunakan *Power Quality Analyzer*.

Hasil persentase galat (% *error*) dapat dihitung dengan rumus :

$$\frac{\text{Pembacaan alat ukur} - \text{pembacaan sensor}}{\text{Pembacaan alat ukur}} \times 100\% \quad (5)$$



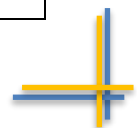


Gambar 8. Kalibrasi dengan alat ukur

Gambar 7 menunjukkan proses kalibrasi sensor pzem 004t yang dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran langsung menggunakan alat ukur *power quality analyzer* dengan merek *Lutron* tipe PC-6011SD. Kalibrasi ini mencakup parameter-parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi. Dalam proses ini peneliti menggunakan beban berupa setrika untuk menguji keakuratan sensor. Gambar 7 pengukuran dengan alat ukur *power quality analyzer* pada jam 17.02 dan hasil pengukuran dari sensor yang dikirim melalui aplikasi telegram menunjukkan waktu yang sama yaitu pukul 17.02. hal ini mengindikasikan sinkronisasi yang baik antara sensor dan alat ukur. Adapun hasil kalibrasi untuk parameter tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi dapat dilihat pada bagian berikut.

Tabel 1. Kalibrasi pengukuran tegangan

NO	Jam	Tegangan pembacaan sensor (volt)	Tegangan pengukuran <i>Power analyzer</i> (volt)	%Galat
1	16.51	205,1	205,3	0,09 %
2	16.54	204,7	204,5	0,09 %
3	16.57	204,3	204,9	0,29 %
4	16.59	204,3	204,4	0,04 %
5	17.02	205,6	205,9	0,14 %
Rata-rata <i>error</i>				0,13 %



Pengukuran tegangan dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan sensor dan alat ukur *power quality analyzer*. Kalibrasi pengukuran tegangan menggunakan beban setrika, menunjukkan bahwa nilai tegangan yang terdeteksi oleh sensor berkisar antara 204,3 volt hingga 205,6 volt, sedangkan nilai tegangan yang terbaca pada *power quality analyzer* berkisar antara 204,4 volt hingga 205,9 volt. Persentase galat (%error) antara pembacaan sensor dan *power quality analyzer* berada dalam rentang 0,04 % hingga 0,29 %, dengan rata-rata persentase galat sebesar 0,13 %. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur tegangan.

Tabel 2. Kalibrasi pengukuran arus

NO	Jam	Arus pembacaan Sensor (ampere)	Arus pengukuran <i>Power Analyzer</i> (ampere)	%Galat
1	16.51	1,67	1,70	1,7 %
2	16.54	1,67	1,68	0,59 %
3	16.57	1,66	1,68	1,2 %
4	16.59	1,66	1,66	0
5	17.02	1,67	1,68	0,59 %
Rata-rata <i>error</i>				0,81 %

Pengukuran arus dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan sensor dan alat ukur *power quality analyzer*. Kalibrasi pengukuran arus menggunakan beban setrika, menunjukkan bahwa nilai arus yang terdeteksi oleh sensor berkisar antara 1,66 ampere hingga 1,67 ampere, sedangkan nilai arus yang terbaca pada *power quality analyzer* berkisar antara 1,66 ampere hingga 1,70 ampere. Persentase galat (%error) antara pembacaan sensor dan *power quality analyzer* berada dalam rentang 0 % hingga 1,7 %, dengan rata-rata persentase galat sebesar 0,81 %. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur arus.

Tabel 3. Kalibrasi pengukuran faktor daya

NO	Jam	pF pembacaan Sensor	pF pengukuran <i>Power Analyzer</i>	%Galat
1	19.10	0,98	0,938	4,5 %
2	19.13	0,98	0,940	4,2 %
3	19.15	0,99	0,945	4,8 %
4	19.18	0,99	0,946	4,6 %
5	19.21	0,99	0,945	4,8 %
Rata-rata <i>error</i>				4,58 %



Pengukuran faktor daya dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan sensor dan alat ukur *power quality analyzer*. Kalibrasi pengukuran faktor daya menggunakan beban setrika, kipas angin, dan charger, menunjukkan bahwa nilai faktor daya yang terdeteksi oleh sensor berkisar antara 0,98 hingga 0,99, sedangkan nilai tegangan yang terbaca pada *power analyzer* berkisar antara 0,938 hingga 0,946. Persentase galat (%error) antara pembacaan sensor dan *power analyzer* berada dalam rentang 4,2 % hingga 4,8 %, dengan rata-rata persentase galat sebesar 4,58 %. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur faktor daya.

Tabel 4. Kalibrasi pengukuran daya

NO	Jam	Daya pembacaan Sensor (watt)	Daya pengukuran <i>Power Analyzer</i> (watt)	%Galat
1	16.51	342,2	331,5	3,2 %
2	16.54	341,3	331,5	2,9 %
3	16.57	339,8	330,8	2,7 %
4	16.59	339,6	324,8	4,5 %
5	17.02	346	331,9	2,3 %
Rata-rata <i>error</i>				3,12 %

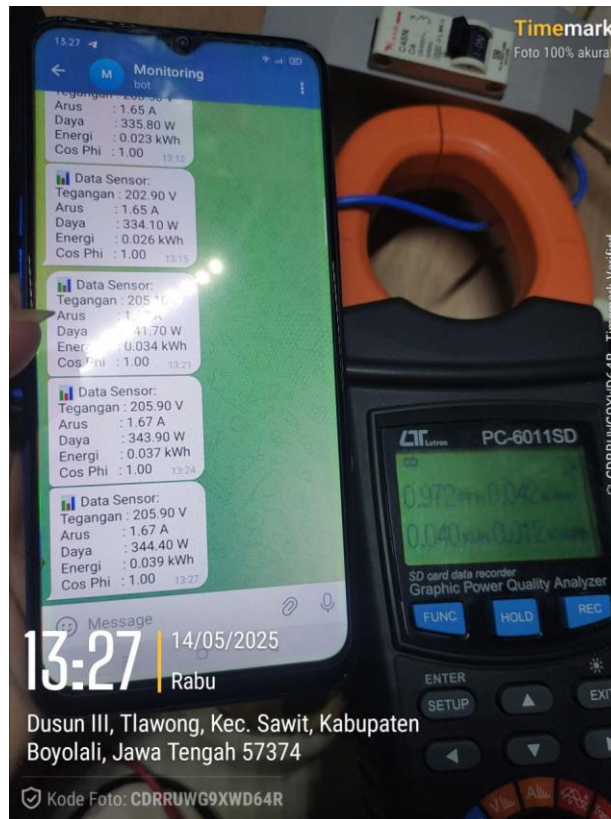
Pengukuran daya dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan sensor dan alat ukur *power quality analyzer*. Kalibrasi pengukuran daya menggunakan beban setrika, menunjukkan bahwa nilai daya yang terdeteksi oleh sensor berkisar antara 339,6 watt hingga 346 watt, sedangkan nilai daya yang terbaca pada *power quality analyzer* berkisar antara 324,8 watt hingga 331,9 watt. Persentase galat (%error) antara pembacaan sensor dan *power quality analyzer* berada dalam rentang 2,3 % hingga 4,5 %, dengan rata-rata persentase galat sebesar 3,12%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur daya.

Tabel 5. Kalibrasi pengukuran energi

NO	Jam	Energi pembacaan Sensor (kWh)	Energi pengukuran <i>Power Analyzer</i> (kWh)	%Galat
1	13.12	0,023	0,024	4,16 %
2	13.15	0,026	0,027	3,7 %
3	13.21	0,034	0,034	0
4	13.24	0,037	0,037	0
5	13.27	0,039	0,040	2,5 %
Rata-rata <i>error</i>				2,07 %



Pengukuran energi dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan sensor dan alat ukur *power quality analyzer*. Kalibrasi pengukuran energi menggunakan beban setrika, menunjukkan bahwa nilai energi yang terdeteksi oleh sensor berkisar antara 0,023 kWh hingga 0,039 kWh, sedangkan nilai energi yang terbaca pada *power quality analyzer* berkisar antara 0,024 kWh hingga 0,040 kWh. Persentase galat (%error) antara pembacaan sensor dan *power quality analyzer* berada dalam rentang 0 % hingga 4,16 %, dengan rata-rata persentase galat sebesar 2,07 %. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur energi. Gambar 9 menunjukkan kalibrasi sensor dengan alat ukur untuk parameter energi (kWh), bisa dilihat hasilnya waktu 13.27, sensor menunjukkan nilai 0,040 dan disensor yang dikirimkan lewat telegram 0,039. Ada beberapa kalibrasi sensor yang mempunyai nilai yang sama, yaitu pada jam 13.21 dan 13.24, nilai pada alat ukur dan sensor mempunyai nilai yang sama.



Gambar 9. Kalibrasi sensor parameter kWh

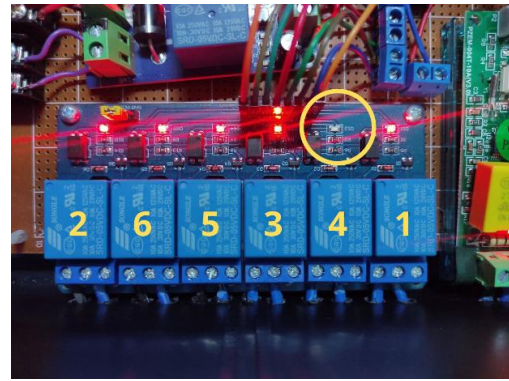
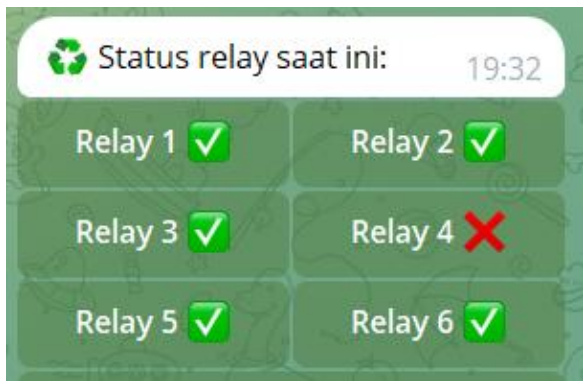


Tabel 6. Kondisi relay

Relay	Status ditelegram	Kondisi relay
1	√	<i>Close</i>
2	√	<i>Close</i>
3	√	<i>Close</i>
4	X	<i>Open</i>
5	√	<i>Close</i>
6	√	<i>Close</i>

Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian terhadap enam buah relay *normally open*, hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh relay berfungsi sesuai dengan instruksi yang diberikan. Berdasarkan data yang ditampilkan relay satu hingga relay tiga menunjukkan tanda centang pada kolom "status telegram", yang menandakan bahwa status dari ketiga relay *normally close*, yang berarti sirkuit pada relay tersebut dalam kondisi tertutup dan beban terhubung ke sumber listrik. Selanjutnya relay 4 menunjukkan tanda silang pada kolom "status telegram", yang menandakan bahwa status relay tersebut *normally open*, yang berarti sirkuit pada relay tersebut dalam kondisi terbuka dan beban tidak terhubung dengan sumber listrik. Lalu untuk relay lima dan enam menunjukkan tanda centang pada kolom "status telegram", yang menandakan bahwa status relay tersebut *normally close*, yang berarti sirkuit pada relay tersebut dalam kondisi tertutup dan beban terhubung ke sumber listrik. Secara keseluruhan dari enam relay yang diamati, lima buah relay menunjukkan tanda centang, yang berarti kondisi relay dalam keadaan *normally close*, dan satu buah relay, yaitu relay 4, menunjukkan tanda silang, yang berarti kondisi relay dalam keadaan *normally open*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *monitoring* dan *controlling* menggunakan telegram berjalan dengan baik, sesuai dengan instruksi.





(a)

(b)

Gambar 10. (a) Tampilan telegram *control* relay (b) Kondisi relay hardware

Gambar 10.a merupakan tampilan pada aplikasi telegram untuk mengontrol relay. Ketika tanda centang berwarna hijau ditampilkan, relay berada dalam kondisi tertutup sehingga beban terhubung dengan sumber listrik. Sebaliknya jika tanda silang (X) berwarna merah muncul, maka keadaan relay terbuka, yang berarti beban tidak terhubung ke sumber listrik. Pengendalian relay dilakukan sangat mudah, cukup dengan menekan satu kali pada tombol kontrol relay tersedia di tampilan telegram. Sebagai contoh pada relay 1 gambar 10.a keadaan relay tertutup, untuk membuka relay atau memutus listrik ke beban pengguna cukup tekan ikon relay satu kali. setelah relay terbuka, tampilan ditelegram relay 1 akan berubah menjadi silang (X) berwarna merah. Begitu pula sebaliknya, untuk menghubungkan kembali listrik ke beban, pengguna cukup satu kali tekan pada tampilan relay 1 yang berstatus terbuka (X merah), jika relay berhasil tertutup kembali, tampilan berubah menjadi centang hijau, menandakan beban telah terhubung kembali ke listrik. Gambar 10.b merupakan kondisi nyata relay pada rangkaian hardware alat, lampu merah yang menyala pada relay menandakan kondisi relay tertutup dan lampu yang mati pada relay menandakan kondisi relay terbuka.

Tabel 7. Delay instruksi relay

	NO	Relay						Rata-rata waktu
		1	2	3	4	5	6	
ON ke OFF (detik)	1	1,73	2,38	2,31	2,34	2,58	2,42	2,29
	2	1,86	2,18	2,28	3,23	1,73	3,52	2,46
	3	2,29	2,48	1,89	1,53	2,03	2,45	2,11
	Total							2,28



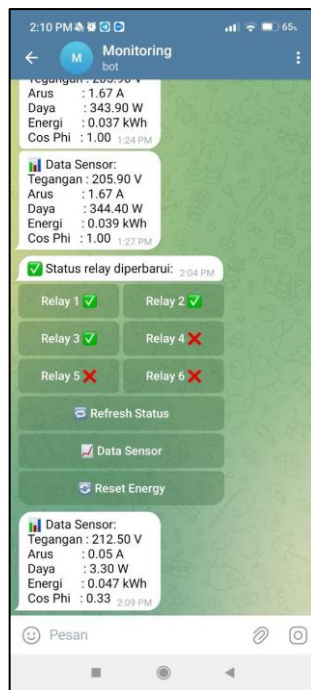
OFF ke ON (detik)	1	1,38	1,75	2,41	2,05	2,8	1,62	2,0
	2	2,22	2,96	3,36	2,24	3,38	2,91	2,84
	3	2,72	1,38	3,14	2,07	1,85	1,78	2,15
	Total							2,33

Tabel 8. Delay instruksi data

	NO	Data sensor	Refresh status	Reset energy	Rata-rata waktu
Waktu (detik)	1	2,01	3,8	2,91	2,9
	2	2,73	2,6	3,32	2,88
	3	2,91	2,36	2,75	2,67
	Total				2,81

Tabel 7 menunjukkan waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengirim dan merespon instruksi relay dari aplikasi telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu respon bervariasi, dapat berlangsung lebih cepat atau lebih lambat tergantung pada kondisi jaringan internet. Untuk total rata-rata waktu yang diperlukan untuk memproses instruksi relay (ON ke OFF) dari telegram yaitu 2,28 detik. Total rata-rata waktu yang diperlukan untuk memproses instruksi relay (OFF ke ON) dari telegram yaitu 2,33 detik. Total rata-rata waktu yang diperlukan untuk memproses instruksi komunikasi data dari telegram yaitu 2,81 detik. Variasi waktu ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kualitas sinyal jaringan internet pada perangkat *smartphone* pengguna serta kestabilan koneksi internet yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Semakin stabil dan kuat jaringan, maka waktu respon cenderung lebih cepat dan sebaliknya jika jaringan kurang stabil maka waktu respon cenderung lebih lama.





(a)



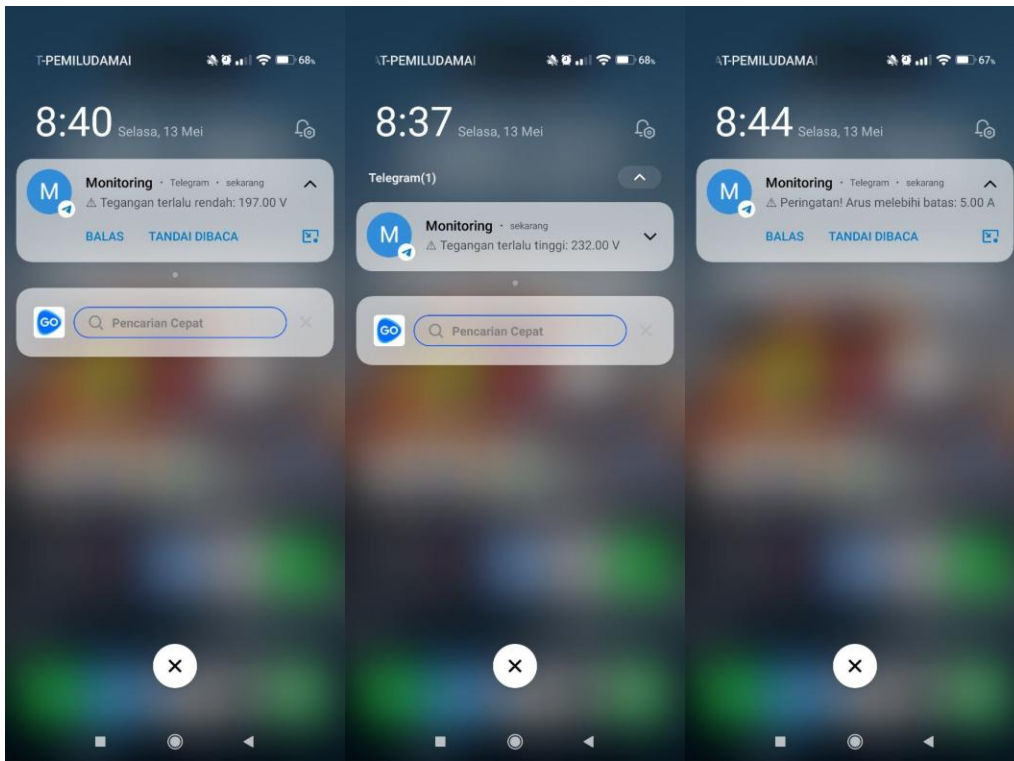
(b)

Gambar 11. (a) Tampilan telegram (b) tampilan layar Oled

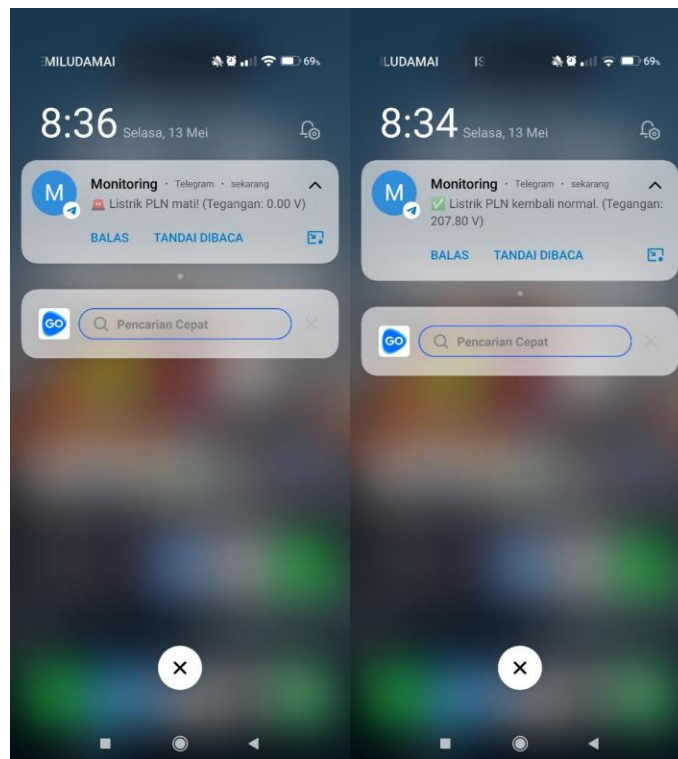
Gambar 11 menunjukkan tampilan data sensor yang ditampilkan pada layar Oled dan pada aplikasi telegram. Nilai data sensor yang ditampilkan keduanya mempunyai nilai yang sama, karena di layar oled dan ditelegram memperoleh data dari sumber yang sama, yaitu sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Kesamaan ini menunjukkan bahwa proses pembacaan dan pengiriman data dari sensor melalui ESP32 berjalan dengan baik dan konsisten, baik untuk tampilan layar oled maupun untuk pemantauan jarak jauh melalui telegram.

Gambar 12 dan 13 merupakan contoh notifikasi yang ditampilkan pada aplikasi telegram di *smartphone*. Pada gambar 11 ditunjukkan contoh notifikasi ketika arus melebihi batas yang ditentukan. Dalam hal ini, peneliti menetapkan arus maksimal sebesar 4A, maka sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi ke aplikasi telegram. Selanjutnya ada notifikasi tegangan terlalu rendah dan terlalu tinggi. Disini peneliti mengatur batas tegangan rendah berada dibawah 198V, dan batas tegangan tinggi apabila melebihi 231V. Jika tegangan yang terukur melebihi atau berada dibawah batas tersebut, maka sistem akan mengirimkan notifikasi ke telegram untuk memberi peringatan kepada pengguna. Sementara itu, gambar 12 menunjukkan contoh notifikasi ketika terjadi pemadaman listrik dan saat listrik kembali menyala. Fitur notifikasi ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi kelistrikan secara real time melalui *smartphone*.





Gambar 12. Notifikasi telegram



Gambar 13. Notifikasi telegram



PEMBAHASAN

Pada bagian ini peneliti melakukan pengujian terhadap kinerja harian alat dengan menggunakan beberapa jenis beban yang berbeda, baik dari segi jenis maupun durasi penggunaannya. Beban yang digunakan dalam pengujian terdiri dari televisi, kipas angin, lampu, setrika, dan charger handphone atau laptop. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui kemampuan sistem dalam penggunaan sehari-hari.

Tabel 9. Hari pertama

NO	Jam	Beban terhubung	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)	Faktor daya	Energi (kWh)
1	06.00	Sistem alat	215,6	0,06	5,7	0,46	0,034
2	08.00		216,4	0,06	5,7	0,47	0,046
3	10.00	Sistem alat, Televisi, charger	212,1	0,45	81,9	0,86	0,083
4	12.00		212,4	0,09	11,5	0,62	0,18
5	14.00	Sistem alat, kipas angin,	211	0,17	27,1	0,76	0,246
6	16.00		209,4	0,16	25,8	0,77	0,275
7	18.00	charger Sistem alat, Televisi, lampu	208,3	0,72	102,8	0,69	0,39
8	20.00		216,2	0,49	91	0,86	0,537
9	22.00	Sistem alat, lampu	222,8	0,09	12	0,61	0,646
10	00.00		223,3	0,09	11,7	0,6	0,67

Tabel 10 merupakan hasil pengujian pada hari minggu 25 mei, hari pertama dari rangkaian pengujian yang direncanakan selama tiga hari. Pengujian dimulai pada pukul 00.00 malam dan berlangsung selama 24 jam penuh. Beban yang digunakan selama pengujian meliputi televisi, lampu, *charger*, kipas angin dan sistem alat. Pada waktu pukul 00.00 malam sampai dengan pukul 08.00 pagi hanya beban sistem alat saja yang terhubung ke sumber listrik. Mulai pukul 08.00 sampai 12.00 ada beban sistem alat, charger, dan televisi terhubung sumber listrik. Selanjutnya pukul 12.00 hingga 16.00 beban sistem alat dan kipas angin yang terhubung. Pukul 16.00 hingga 18.00 ada beban sistem alat, charger, dan kipas angin. Lalu pukul 18.00 hingga pukul 22.00 beban sistem alat, charger, lampu dan televisi. Pukul 22.00 hingga pukul 00.00 beban sistem alat dan lampu. Sistem alat tetap terhubung ke sumber listrik selama 24 jam, karena untuk *monitoring* dan *controlling* penggunaan daya listrik rumah tangga. Berdasarkan hasil pengujian hari pertama ini, total energi listrik yang digunakan adalah sebesar 0,67 kWh.



Tabel 10. Hari kedua

NO	Jam	Beban terhubung	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)	Faktor daya	Energi (kWh)
1	06.00	Sistem alat	218,6	0,06	5,6	0,41	0,713
2	08.00	Sistem alat,	219,1	0,06	5,7	0,41	0,724
3	10.00	Televisi	218,6	0,09	11,5	0,56	0,764
4	12.00	Sistem alat	223,7	0,07	6,5	0,43	0,781
5	14.00	Kipas angin	217,1	0,07	6,9	0,45	0,812
6	16.00		219,1	0,06	5,5	0,42	0,824
7	18.00	Sistem alat,	218,3	0,37	55,4	0,7	0,848
8	20.00	Televisi, lampu	220,4	0,36	55,9	0,7	0,985
9	22.00		222,6	0,09	12	0,62	1,088
10	00.00	Sistem & lampu	225,3	0,09	11,8	0,6	1,112

Tabel 11 merupakan hasil pengujian pada hari senin 26 mei, hari kedua dari rangkaian pengujian yang direncanakan selama tiga hari. Pengujian sama dimulai pada pukul 00.00 malam dan berlangsung selama 24 jam penuh. Beban yang digunakan selama pengujian meliputi televisi, lampu, *charger*, dan sistem alat. Pada waktu pukul 00.00 malam sampai dengan pukul 08.00 pagi hanya beban sistem alat saja yang terhubung ke sumber listrik. Mulai pukul 08.00 sampai 10.00 ada beban televisi yang terhubung sumber listrik, dan pada pukul 10.00 hingga 12.00 hanya beban sistem alat yang digunakan. Selanjutnya pukul 12.00 hingga 16.00 beban yang terhubung sistem alat dan kipas angin. Pukul 16.00 hingga 18.00 hanya beban sistem alat saja, selanjutnya pukul 18.00 hingga 22.00 beban yang terhubung televisi, lampu dan sistem alat. Pukul 22.00 sampai 00.00 hanya beban lampu dan sistem alat. Sistem alat tetap terhubung ke sumber listrik selama 24 jam, karena untuk *monitoring* dan *controlling* penggunaan daya listrik rumah tangga. Berdasarkan hasil pengujian hari kedua ini, total energi listrik yang digunakan adalah sebesar 1,112 kWh.

Tabel 11. Hari ketiga

NO	Jam	Beban terhubung	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)	Faktor daya	Energi (kWh)
1	06.00	Sistem alat	213,8	0,07	5,9	0,42	1,151
2	08.00	Sistem alat	208,3	0,1	11,5	0,56	1,2
3	10.00	televisi	213,1	0,1	12	0,56	1,245



4	12.00	Sistem alat	214,6	0,1	11,6	0,56	1,268
5	14.00	Kipas angin, televisi	214,6	0,14	21	0,69	1,353
6	16.00	Sistem alat	214,4	0,28	34,1	0,57	1,393
7	18.00	Charger, setrika	211	0,13	17,8	0,64	1,433
8	20.00	Sistem alat	220	0,48	72,9	0,69	1,51
9	22.00	Televisi&lampu	221	0,09	12	0,61	1,6
10	00.00	Sistem & lampu	224,5	0,09	11,9	0,6	1,625

Tabel 12 pengujian pada hari Selasa 27 Mei, hari ketiga dari rangkaian pengujian yang direncanakan selama tiga hari. Pengujian sama dimulai pada pukul 00.00 malam dan berlangsung selama 24 jam penuh. Beban yang digunakan selama pengujian meliputi televisi, lampu, charger, setrika dan sistem alat. Pada waktu pukul 00.00 malam sampai dengan pukul 08.00 pagi hanya beban sistem alat saja yang terhubung ke sumber listrik. Pukul 08.00 hingga pukul 10.00 beban sistem alat dan televisi yang terhubung, selanjutnya pukul 10.00 sampai 12.00 sistem alat saja yang terhubung. Pukul 12.00 hingga 14.00 beban sistem alat, televisi, dan kipas angin yang terhubung, lalu pukul 14.00 hingga 16.00 sistem alat dan kipas angin yang terhubung. Pukul 16.00 hingga 18.00 beban televisi setrika dan charger, selanjutnya pukul 18.00 hingga 22.00 beban sistem alat, lampu dan televisi yang terhubung. Lalu pukul 22.00 hingga pukul 00.00 beban sistem alat dan lampu yang terhubung. Sistem alat tetap terhubung ke sumber listrik selama 24 jam, karena untuk *monitoring* dan *controlling* penggunaan daya listrik rumah tangga. Berdasarkan hasil pengujian hari ketiga ini, total energi listrik yang digunakan adalah sebesar 1,625 kWh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat monitoring dan controlling penggunaan daya listrik skala rumah tangga telah sesuai dengan perencanaan. Alat ini mampu melakukan monitoring penggunaan daya listrik secara real time. Sensor PZEM-004T dapat membaca parameter listrik tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi dengan cukup akurat, dengan persentase galat dibawah 5%. Kinerja relay juga telah sesuai dengan instruksi, ketika pada aplikasi ditelegram ditampilkan simbol relay silang (x) berwarna merah, hal tersebut menunjukkan bahwa relay dalam kondisi terbuka (open), sehingga beban tidak terhubung dengan sumber listrik. Sebaliknya apabila ditampilkan simbol relay centang berwarna hijau, maka relay dalam kondisi tertutup (close) dan beban terhubung ke sumber listrik. Untuk delay dalam penerimaan instruksi telegram juga cukup baik dengan rata-rata waktu respon 2,52 detik.



Variasi delay waktu instruksi telegram ini dapat terjadi karena dipengaruhi oleh kualitas jaringan internet pada smartphone maupun pada perangkat ESP32 yang terhubung ke jaringan. Tampilan data sensor pada layar oled juga sama dengan data sensor yang dikirimkan melalui telegram, karena data sensor tersebut didapat dari sumber yang sama yaitu ESP32. Hasil pengujian harian menunjukkan bahwa alat ini berfungsi dengan baik, tidak mengalami kendala. Selama tiga hari pengujian, total konsumsi daya listrik yang tercatat adalah sebesar 1,625 kWh. Nilai konsumsi daya yang rendah ini disebabkan oleh penggunaan beban dengan daya yang rendah. Penggunaan beban berdaya tinggi, seperti setrika, hanya dilakukan dalam waktu singkat, sehingga tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap total konsumsi daya.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, ada saran yang akan menjadikan sistem alat ini lebih sempurna lagi yaitu dengan menambahkan daya baterai untuk daya listrik cadangan. Baterai yang digunakan penelitian ini hanya mampu bertahan kurang lebih 2 jam. Solusi dapat dilakukan dengan menambahkan kapasitas baterai lebih besar untuk cadangan listrik ketika listrik padam lebih dari 2 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, karunia, dan petunjuknya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

Bapak Rizki Nurilyas Ahmad, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan dukungan selama proses pembuatan tugas akhir ini. Bapak dan ibu dosen Teknik Elektro atas ilmu dan wawasan yang sudah diberikan selama menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta. Kedua orang tua dan keluarga saya tercinta atas doa dan dukungan yang tak henti-henti. Teman-teman seperjuangan saya yang telah memberikan semangat dan bantuan selama proses pembuatan tugas akhir ini. Serta semua teman-teman Teknik Elektro 2021 yang telah memberikan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung selama menjadi mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. N. Rohmah, F. N. Alwi, and J. Jatmiko, "Alat Monitoring dan Pengendalian Konsumsi Listrik Rumah Tangga untuk Pengembangan Rumah Pintar Berbasis IoT," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 34–38, 2022, doi: 10.23917/emit.v22i1.15159.
- [2] A. Sandira, Jufrizel, P. Son Maria, and A. Ullah, "Alat Monitoring dan Notifikasi



- Penggunaan Daya Listrik Rumah Tangga Berbasis Internet Of Things Menggunakan Blynk 2.0," *J. Komput. Terap.*, vol. 8, no. 2, pp. 408–420, 2023, doi: 10.35143/jkt.v8i2.5761.
- [3] E. Kurniawan, D. S. Pangaudi, and E. N. Widjatmoko, "Perancangan Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis Android," *Cyclotron*, vol. 5, no. 1, pp. 63–68, 2022, doi: 10.30651/cl.v5i1.8772.
- [4] H. Malviya, "IoT-Enabled Real-Time Smart Energy Meter," vol. 8, no. 5, pp. 191–196, 2023.
- [5] G. B 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, [Online]. Available: www.ijert.org
- [6] P. Power and U. Control, "Design of Electrical Energy Monitoring System Using NodeMCU," pp. 10–18, 2020.
- [7] Y. K. Kirange, S. A. Patil, R. S. Patil, H. S. Tavade, and S. D. Jadhav, "IOT BASED POWER MONITORING SYSTEM WITH THE HELP OF ESP8266 AND PZEM 004T SENSOR," no. 11, pp. 1992–1995, 2024.
- [8] I. B. G. 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.
- [9] D. A. Basudewa, W. Aribowo, M. Widyartono, and A. C. Hermawan, "Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya pada Gedung IDB Laboratory UNESA," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 3, pp. 697–707, 2020.
- [10] Kelompok Pembakuan Bidang Transmisi, "SPLN 1:1995 Tegangan-Tegangan Standar," *PT PLN*, pp. 1–12, 1995, [Online]. Available: <https://idoc.pub/documents/spln-1-1995-tegangan-standar-mwl1g6ekr9lj>

