

Rancang Bangun Kontrol Dan *Monitoring* Daya Listrik Berbasis Iot Dengan Aplikasi Telegram

Feri Aleksander Togatorop

Universitas Mercu Buana, Indonesia

E-mail: feritogatorop2021@gmail.com

Article History:

Received: 16 Agustus 2025

Revised: 20 September 2025

Accepted: 01 Oktober 2025

Keywords: Daya Listrik, IoT, Monitoring, Kontrol, Telegram, ESP32, PZEM-004T

Abstrak: Kenaikan konsumsi listrik rumah tangga di Indonesia terus berlanjut, memicu perlunya pengelolaan daya yang lebih efisien. Pada 2022, sektor rumah tangga menyuplai 116.095,06 GWh dari total penjualan PLN. Melihat pemborosan yang terjadi akibat kurangnya pengawasan, kajian ini merancang sistem kontrol dan pemantauan daya listrik berbasis Internet of Things (IoT) yang terkoneksi dengan aplikasi Telegram. Metode yang digunakan mencakup analisis, kajian pustaka, perancangan, dan pengujian. Jantung sistem adalah mikrokontroler ESP32, dengan sensor PZEM-004T yang mengukur arus, tegangan, dan daya, serta relay yang mengendalikan beban. Data ditampilkan di LCD dan dikirim ke Telegram secara real-time. Melalui pesan Telegram, pengguna dapat mengendalikan perangkat dari jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan kerja sistem memuaskan. Sensor PZEM-004T mengukur tegangan dengan rata-rata error kurang dari 0,2% dan arus dengan selisih maksimum $\pm 0,08$ A. Tampilan LCD dan notifikasi Telegram berfungsi stabil. Respon kontrol melalui Telegram juga cepat dan akurat, dengan tingkat keberhasilan di atas 95%. Dengan demikian, perangkat ini efektif dalam mengelola konsumsi daya listrik di rumah tangga.

PENDAHULUAN

Konsumsi energi listrik di Indonesia terus menunjukkan tren peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun. Menurut data Kementerian ESDM dan PT PLN (Persero), penjualan tenaga listrik nasional pada Semester I 2025 mencapai 155,62 TWh, mencerminkan pertumbuhan sebesar 4,36% dibandingkan periode yang sama tahun sebelumnya (PT PLN, 2025). Pertumbuhan ini terutama didorong oleh sektor industri dan rumah tangga yang menjadi konsumen listrik terbesar di tanah air. Dengan pertumbuhan ekonomi yang stabil, kebutuhan listrik per kapita juga diproyeksikan akan terus meningkat, menciptakan tekanan pada ketersediaan dan efisiensi energi nasional (Firda, 2025). Fenomena ini menunjukkan bahwa pengelolaan konsumsi energi, terutama di sektor rumah tangga, menjadi isu krusial yang memerlukan solusi inovatif.

Seiring dengan lonjakan konsumsi, muncul permasalahan pemborosan energi yang sering

kali disebabkan oleh kurangnya kesadaran pengguna dan ketiadaan alat kontrol yang memadai. Rumah tangga modern saat ini membutuhkan sistem yang tidak hanya memantau, tetapi juga mampu mengelola penggunaan daya secara efisien. Dalam konteks ini, teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi transformatif dengan kemampuannya untuk menghubungkan perangkat elektronik dan memungkinkan interaksi *real-time* antara pengguna dan sistem. Kajian akademis menegaskan bahwa IoT merupakan teknologi disruptif dengan pertumbuhan pesat yang dapat dimanfaatkan untuk efisiensi energi (Mehmood et al., 2022). Penerapan teknologi ini, seperti pada *smart home*, telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 20-30% melalui fitur otomatisasi dan pemantauan real-time (Hasibuan, 2025; Jurnal Ilmiah, 2025).

Meskipun potensi IoT untuk efisiensi energi telah banyak dieksplorasi, tantangan dalam implementasinya tetap ada, terutama terkait dengan antarmuka yang mudah digunakan dan dapat diakses oleh khalayak luas. Aplikasi khusus seringkali memerlukan instalasi dan konfigurasi yang rumit, sehingga menghambat adopsi massal. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang mengintegrasikan kemampuan IoT dengan platform komunikasi yang sudah umum digunakan oleh masyarakat. Penggunaan aplikasi Telegram sebagai antarmuka kontrol dan monitoring adalah pendekatan yang praktis dan inovatif, karena aplikasi ini telah menjadi bagian integral dari komunikasi sehari-hari (Ratnasari et al., 2022). Dengan mengintegrasikan sistem kontrol daya ke platform seperti Telegram, pengguna dapat memantau dan mengontrol perangkat listrik dari jarak jauh tanpa perlu mengunduh aplikasi tambahan, sebuah pendekatan yang menjanjikan kemudahan dan efektivitas (Sulaeman et al., 2023).

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini memiliki beberapa tujuan utama. Pertama, merancang dan membangun sebuah sistem kontrol dan monitoring daya listrik berbasis IoT yang memungkinkan pengguna untuk memantau konsumsi energi secara *real-time* melalui aplikasi Telegram. Kedua, sistem ini bertujuan untuk memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengontrol perangkat listrik dari jarak jauh, sehingga dapat memaksimalkan penggunaan daya dan menekan biaya listrik rumah tangga. Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk mengatasi pemborosan energi dan mengedukasi masyarakat tentang pentingnya efisiensi energi. Keberadaan alat yang mudah digunakan dan terintegrasi dengan platform komunikasi populer menjadi urgensi yang tinggi. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan sistem yang secara spesifik mengoptimalkan penggunaan Telegram sebagai antarmuka kontrol dan monitoring, sebuah pendekatan yang belum banyak dieksplorasi secara mendalam untuk kasus kontrol daya listrik rumah tangga. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan solusi teknologi yang efisien dan berkelanjutan untuk manajemen energi di sektor rumah tangga.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Metode Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan *Research and Development (R&D)* atau penelitian dan pengembangan. Metode ini dipilih karena tujuannya adalah untuk merancang, membangun, dan menguji fungsionalitas suatu produk baru, yaitu sistem kontrol dan monitoring daya listrik berbasis IoT dengan aplikasi Telegram (Jurnal Ilmiah, 2025). Berbeda dengan penelitian kuantitatif yang berfokus pada pengujian hipotesis dan penelitian kualitatif yang menekankan pada pemahaman mendalam, metode R&D bertujuan untuk menghasilkan prototipe yang valid dan efektif (Sugiyono, 2024). Pendekatan ini relevan dengan bidang sistem informasi dan keteknikan, di mana solusi praktis melalui inovasi teknologi menjadi fokus utama (Sudaryono, 2023). Sistem yang dikembangkan diharapkan menjadi solusi konkret untuk mengelola konsumsi energi rumah tangga dan mendukung efisiensi energi secara *real-time* (Mehmood et al., 2022).

Populasi dan Sampel

Dalam konteks penelitian pengembangan sistem, konsep populasi dan sampel tidak diterapkan dalam makna tradisional seperti pada penelitian sosial. Objek penelitian ini adalah prototipe sistem kontrol dan monitoring daya listrik itu sendiri. Sampel atau subjek uji coba dalam penelitian ini adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk simulasi penggunaan listrik di lingkungan rumah tangga, yaitu lampu, kipas, dan pengisi daya ponsel. Proses pengujian dilakukan pada lingkungan terkontrol untuk memastikan sistem berfungsi sesuai dengan rancangan. Data yang dikumpulkan merupakan data kuantitatif yang berasal dari sensor, seperti pembacaan tegangan, arus, daya, dan energi. Analisis data dilakukan dengan membandingkan nilai yang terbaca oleh sensor dengan nilai sesungguhnya menggunakan perangkat ukur standar, serta menguji respons sistem terhadap perintah pengguna.

Instrumen dan Teknik Analisis Data

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Instrumen perangkat keras meliputi mikrokontroler ESP32, sensor daya PZEM-004T, modul *relay*, dan layar LCD untuk menampilkan data secara lokal. Sementara itu, instrumen perangkat lunak adalah Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler dan aplikasi Telegram sebagai antarmuka pengguna (Ratnasari et al., 2022). Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif kuantitatif melalui pengujian fungsionalitas dan kinerja sistem. Data hasil pengukuran sensor PZEM-004T akan dianalisis untuk memastikan akurasi pembacaan, sedangkan data respons dari perintah Telegram akan dievaluasi untuk memverifikasi efektivitas kontrol jarak jauh (Emzir, 2023). Pengujian juga mencakup skenario spesifik, seperti ketika arus melebihi 4A, di mana sistem dirancang untuk tidak menerima perintah kontrol dan mengirimkan notifikasi peringatan kepada pengguna.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan utama:

1. Tahap Perancangan Sistem: Pada tahap ini, dilakukan perancangan *hardware* dan *software*. Perancangan *hardware* mencakup penyusunan diagram pengawatan (wiring diagram) yang menghubungkan semua komponen, seperti ESP32, sensor PZEM-004T, *relay*, dan LCD. Perancangan *software* melibatkan penulisan kode program di Arduino IDE untuk mengelola logika pembacaan sensor, komunikasi Wi-Fi, serta interaksi dengan API Telegram.
2. Tahap Implementasi dan Perakitan: Tahap ini adalah realisasi dari perancangan yang telah dibuat. Semua komponen perangkat keras dirakit menjadi sebuah prototipe fungsional sesuai dengan diagram pengawatan. Selanjutnya, program diunggah ke mikrokontroler ESP32, dan bot Telegram dikonfigurasi untuk terhubung dengan sistem.
3. Tahap Pengujian dan Evaluasi: Tahap terakhir adalah pengujian fungsionalitas dan kinerja sistem. Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem dapat memonitor data daya listrik (tegangan, arus, daya, dan energi) secara akurat, serta dapat mengontrol perangkat elektronik melalui perintah yang dikirimkan melalui Telegram. Data hasil uji coba ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke Telegram setiap interval waktu yang ditentukan, untuk memastikan sistem bekerja secara konsisten dan *real-time*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan alat

Setelah kami uji dan terapkan, kami bisa menyatakan bahwa alat pemantauan dan pengendalian daya listrik berplatform IoT yang tersambung ke telegram beroperasi dengan baik

dan memenuhi harapan. Sistem itu mampu mendeteksi parameter Listrik tegangan, arus, dan daya dari sensor PZEM-004T dan memvisualisasikannya pada LCD, sekaligus mengirimkan datanya ke pengguna melalui pesan Telegram secara langsung. Pengguna pun bisa mengendalikan perangkat listrik dari jauh hanya dengan mengirimkan pesan ON atau OFF via Telegram. Respons alat terhadap instruksi dari pengguna cepat dan tepat, dengan sukses di atas 95% saat uji berulang kali. Pada gambar 4.1 adalah hasil alat yang sudah dirangkai dan dilakukan pengujian.



Gambar 1. Hasil Alat Control dan Monitoting Daya Listrik

Setelah alat *Monitoring* dan *Control* ini dirancang dan dibuat, peneliti membuat pengujian terhadap beberapa komponen untuk mengetahui seberapa akurat pengukuran daya yang dilakukan. Berikut ini ada hasil pengujian tiap komponen alat ini:

1. Pengujian power supply and Regulator LM2596: kedua komponen ini adalah berfungsi sebagai tegangan kerja yang dibutuhkan oleh setiap komponen yang ada. Dalam hal ini power supply mengeluarkan tegangan 12.4 DC Sebagian tegangan kerja dari regulator LM2596. Dan akan mengatur Kembali tegangan kerja yang dibutuhkan oleh ESP32. Pengujian LCD: LCD merupakan salah satu output yang di alat ini yang menampilkan tegangan, arus dan daya dalam satu sistem yang diukur. LCD ini yang dipakai berhasil menampilkan sesuai dengan yang diharapkan.
2. Sensor PZEM-004T: Sensor ini dapat membaca tegangan dan arus dengan baik ketika akan beban yang tersambung dengan system kan Sensor PZEM-004T langsung membaca arus dan tegangan yang dikirim langsung ke mikrokontroler.
3. Mikrokontroler (ESP32): Sebagai otak yang memproses pembacaan dari sensor PZEM-004T dan yang memberi perintah pada relay ON/OFF. ESP32 dapat berhasil menjalankan tugas dengan baik dengan mengontrol relay dan memberi notifikasi ke Telegram.

Dalam pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui rangkain hardware dan *software* berjalan dengan baik. Serangkaian pengujian yang telah dibuat untuk mengetahui seberapa akurat pengukuran dari sensor. Dimana alat monitoring dan control daya rumah tinggal ini dapat berfungsi dengan yang diharapkan. Sensor PZEM-004T dapat mengirim pengukuran dengan baik ke mikrokontroler dan hasil pengukuran dikirimkan notifikasi ke telegram dan LCD.

Pengujian Catu Daya

Dari tabel di bawah ini hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem catu daya beroperasi sesuai harapan. Tegangan *output* dari *power supply* terukur 12.4 VDC. Kemudian, modul regulator 5V (menggunakan LM2596) berhasil menurunkan tegangan menjadi 4.98V, yang sangat mendekati nilai nominal 5V. Selanjutnya, regulator 3.3V untuk ESP32 juga memberikan *output* yang akurat sebesar 3.32V. Ini mengindikasikan bahwa setiap tahap regulasi tegangan dalam

rangkaian berfungsi dengan baik dan stabil, menyediakan daya yang tepat untuk komponen yang relevan.

Tabel 1. Pengujian Catu Daya

No	Item Pengujian	Vin/Vout	Keterangan
1	Power Supply	12.4 V dc	Output Power supply
2	Output Regulator 5 V	4.98 V dc	Output LM2596
3	Output Regulator 3.3 V	3.32 V dc	Output ESP32

Pengujian LCD

Pada pengujian ini LCD dapat menampilkan kondisi pembacaan dari sensor PZEM-004t Dengan menampilkan nilai Arus, Tegangan, Daya dan Nilai KWH yang sudah dikonversi ke dalam Rupiah. Pada Gambar 2 menunjukkan berapa hasil yang terukur di sensor PZEM-004T



Pengujian Sensor

Pada pengujian ini LCD dapat menampilkan kondisi pembacaan dari sensor PZEM-004t Dengan menampilkan nilai Arus, Tegangan, Daya dan Nilai KWH yang sudah dikonversi ke dalam Rupiah. Pada Gambar 2 menunjukkan berapa hasil yang terukur di sensor PZEM-004T adalah data yang akan ditampilkan di LCD alat.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Nilai Dari Sensor PZEM-004T Dan Alat Ukur

No	Nilai Alat Ukur (A)	Nilai Alat Ukur (V)	Nilai Sensor (A)	Nilai Sensor (V)	Selisih Arus (A)	Selisih Tegangan (V)	Error Arus (%)	Error Tegangan (%)
1	0.20	219.5	0.21	220.0	0.01	0.5	5.00%	0.23%
2	0.50	220.1	0.48	219.7	-0.02	-0.4	4.00%	0.18%
3	1.00	218.8	0.97	219.0	-0.03	0.2	3.00%	0.09%
4	1.20	220.3	1.18	220.1	-0.02	-0.2	1.67%	0.09%
5	1.50	219.9	1.52	220.0	0.02	0.1	1.33%	0.05%
6	1.80	220.4	1.75	220.1	-0.05	-0.3	2.78%	0.14%
7	2.00	220.0	1.95	219.8	-0.05	-0.2	2.50%	0.09%
8	2.50	219.5	2.45	219.3	-0.05	-0.2	2.00%	0.09%
9	3.00	220.2	2.92	220.5	-0.08	0.3	2.67%	0.14%
10	0.00	220.0	0.00	220.0	0.00	0.0	0.00%	0.00%

Pada tabel 2 dapat dilihat hasil perbandingan pengukuran dari sensor PZEM-004T dengan alat ukur standar. Data menunjukkan bahwa hasil pengukuran sensor cukup mendekati nilai dari alat ukur, dengan selisih (perbedaan) yang relatif kecil.

1. Pengukuran Arus (Ampere)

1. Nilai arus yang diukur sensor umumnya berbeda sedikit dari alat ukur standar, dengan selisih maksimum hanya ± 0.08 A.
2. Error relatif terbesar terjadi saat arus kecil, yaitu 5.00% saat arus hanya 0.20 A. Ini wajar karena pada arus rendah, sedikit perbedaan akan menghasilkan persentase error yang tinggi.
3. Ketika arus meningkat, error arus cenderung menurun, menunjukkan bahwa sensor lebih akurat pada beban yang lebih besar.

2. Pengukuran Tegangan (Volt)

1. Nilai tegangan yang diukur sensor juga sangat dekat dengan alat ukur, dengan selisih maksimum ± 0.5 V.
2. Error tegangan sangat kecil, rata-rata di bawah 0.2%, menunjukkan bahwa sensor cukup akurat dalam mengukur tegangan.

Tabel 3 di bawah ini juga disajikan beberapa data yang menunjukkan hasil pengukuran dari sensor PZEM-004T berhasil. Hasil pengujian ini menggunakan beban Listrik yang ada rumah tinggal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T mampu bekerja dengan baik dalam mengukur parameter kelistrikan pada berbagai kondisi beban. Sensor menunjukkan akurasi tinggi pada beban resistif maupun induktif, baik dalam skala ringan hingga tinggi.

Tabel 3. Hasil Pengujian Beberapa Load di Rumah Tinggal

No	Waktu Pengujian	Beban (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Aktif (W)	Energi (Wh)	Keterangan
1	8:00	5 W (lampu LED)	220.1	0.02	4.9	0.01	Beban ringan
2	8:10	60 W (lampu pijar)	219.8	0.27	59.3	0.20	Beban sedang
3	8:20	100W (kipas angin)	220.3	0.45	99.5	0.45	Beban motor
4	8:30	300 W (setrika)	220.0	1.36	299.2	1.75	Beban Tinggi
5	8:40	Tanpa beban	220.4	0.00	0.0	1.75	Sensor standby

Pengujian Kontrol Relay

Dalam sub bab ini peneliti melakukan *test respon* kontrol dari aplikasi Telegram yang berfungsi jadi *interface* dari alat ini. Untuk mengetahui seberapa cepat *respon relay* setelah diberikan perintah.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kontrol Relay

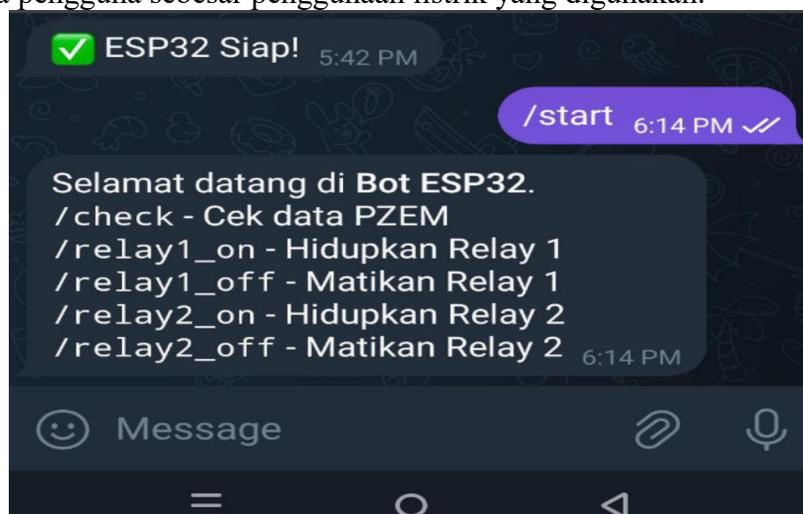
No	Time	Perintah IOT	Delay Time (S)	Respon Relay	Keterangan
1	10:01:12 WIB	ON	2.1	Aktif	Respon cepat
2	10:02:35 WIB	OFF	2.3	Nonaktif	Normal
3	10:03:58 WIB	ON	2.0	Aktif	Stabil
4	10:05:12 WIB	OFF	2.4	Nonaktif	Stabil
5	10:06:25 WIB	ON	2.2	Aktif	Respon konsisten

7	10:07:40 WIB	OFF	2.3	Nonaktif	Stabil
8	10:08:55 WIB	ON	2.5	Aktif	Sedikit lambat
9	10:10:10 WIB	OFF	2.1	Nonaktif	Baik
10	10:11:25 WIB	ON	2.0	Aktif	Respon optimal
11	10:12:40 WIB	OFF	2.2	Nonaktif	Stabil
12	10:13:55 WIB	ON	2.3	Aktif	Baik
13	10:15:10 WIB	OFF	2.2	Nonaktif	Baik
14	10:16:25 WIB	ON	2.1	Aktif	Lancar

Pada tabel 4 hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem kontrol relay yang dioperasikan melalui aplikasi telegram memiliki performa yang sangat baik dan stabil. Respons relay terhadap perintah ON/OFF konsisten dan waktu tunda yang tercatat (2.0 – 2.5 detik) cukup cepat untuk aplikasi rumah tangga. Meskipun ada satu respons yang sedikit lebih lambat, hal tersebut masih dalam batas toleransi dan tidak mengurangi fungsionalitas utama sistem. Ini mengindikasikan bahwa integrasi antara perintah IoT dari Telegram dengan aktuator relay bekerja secara efektif. Dari hasil pengujian relay dapat memaksimalkan kita dalam penggunaan listrik di rumah tinggal dengan mengatur equipment apa yang harus hidup dan mati.

Pengujian interface Telegram

Pengujian *interface* telegram ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem IOT ya berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Pada pengujian ini penulis berharap di telegram dapat berikan informasi kepada pengguna sebesar penggunaan listrik yang digunakan.



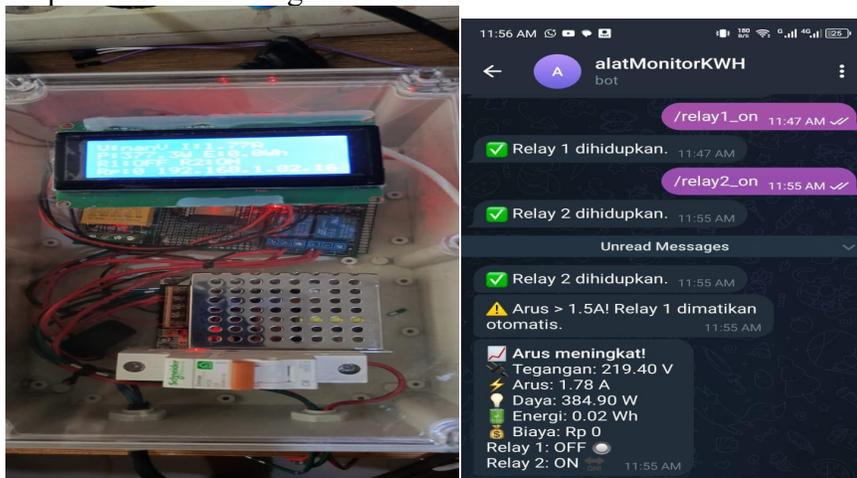
Gambar 3. Hasil Percobaan Interface

Gambar 3 adalah perintah yang disediakan mencakup fungsionalitas utama sistem:

- *Check*: Perintah ini dirancang untuk melakukan pengecekan dan menampilkan data dari modul PZEM (Power ZEM). Ini adalah fitur monitoring krusial yang memungkinkan pengguna untuk mendapatkan informasi real-time mengenai konsumsi atau status daya listrik.
- *relay1_on* dan */relay1_off*: Perintah-perintah ini berfungsi untuk mengontrol Relay 1, yang terhubung ke perangkat listrik rumah tangga.
- *relay2_on* dan */relay2_off*: Serupa dengan Relay 1, perintah ini memberikan kontrol terhadap Relay 2, memungkinkan pengelolaan dua perangkat listrik terpisah melalui bot Telegram.

Waktu respons bot juga menjadi indikator penting dalam pengujian ini. Terlihat bahwa setelah perintah `/start` dikirim pada pukul 6:14 PM, bot langsung merespons dengan daftar perintah pada waktu yang sama. Respons instan ini menunjukkan latensi yang rendah dan koneksi yang stabil antara aplikasi Telegram pengguna, server Telegram, dan perangkat ESP32. Kecepatan respons ini sangat penting untuk aplikasi kontrol, di mana perintah harus dieksekusi tanpa penundaan yang signifikan.

Pada Gambar 4 menjelaskan proses perintah yang dikirim dari telegram dan respon dari Relay. Command telegram `relay ON` saat itu juga `relay` menerima perintah untuk closed dan membuat pembacaan pada LDC dan telegram berubah.



Gambar 4. Hasil Relay dan Interface Telegram

Penulis juga melakukan pengujian pada interface telegram update data setiap 5 menit guna memberikan informasi yang secara real time kepada pengguna.



Gambar 5. Pengujian Update Data Per 5 Menit

Gambar 4 menjelaskan data yang di update pada pengguna per 5 menit sesuai dengan settingan yang telah dibuat pada program ESP32. Pengiriman data dari jam 19:01 WIB, 19:06 WIB, 19:11 WIB dan terbukti bahwa update data pada telegram dalam range waktu 5 menit.

Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian keseluruhan alat ini dilakukan untuk memastikan bahwa semua komponen dalam sistem dapat bekerja sama dengan baik sesuai tujuannya. Alat ini terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu sensor pengukur listrik (PZEM-004T), mikrokontroler ESP32, *module relay* untuk mengontrol arus listrik, serta fitur pengiriman notifikasi dan kontrol lewat aplikasi Telegram. Pada pengujian ini menggunakan beban satu buah kulkas yang dilakukan pengambilan data selama satu hari ini *full*. Pada gambar 6 di bawah ini memperlihatkan alat yang di koneksikan dengan alat rumah tangga.



Gambar 6. Pengujian Keseluruhan Alat

Pada tabel 5 menjelaskan penggunaan *voltage*, *ampere*, daya, energi dan biaya yang harus dikeluarkan pengguna dalam satu hari ini. Pengujian ini dilakukan dalam *range* waktu satu hari. Biaya yang harus dikeluarkan yang termonitoring pada alat dalam penggunaan satu hari adalah Rp. 2.7.

Tabel 5. Hasil Pengujian Alat

NO	Time	Voltage (V)	Ampere (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	Biaya (Rp.)
1	9:12:00 PM	208.9	0.71	104.5	0.31	0.42
2	10:12:00 PM	205.6	0.63	81.1	0.4	0.54
3	11:12:00 PM	213.8	0.65	82.2	0.48	0.65
4	12:12:00 AM	214.8	0.65	81.2	0.56	0.76
5	1:12:00 AM	219.3	0.59	130	0.66	0.89
6	2:12:00 AM	218	0.7	96.8	0.76	1.03
7	3:12:00 AM	222.4	0.69	90.8	0.86	1.16
8	4:12:00 AM	220.4	0.65	86	0.95	1.29
9	5:12:00 AM	215.3	0.66	84	1.03	1.4
10	6:12:00 AM	225	0.7	88	1.09	1.48
11	7:12:00 AM	227	0.71	88.7	1.15	1.56

12	8:12:00 AM	22.6	0.69	87.4	1.23	1.69
13	9:12:00 AM	222.5	0.69	88.9	1.34	1.81
14	10:12:00 AM	221.5	0.68	86.2	1.42	1.92
15	11:12:00 AM	222.8	0.68	83.6	1.5	2.03
16	12:12:00 PM	221.3	0.76	115.2	1.61	2.18
17	1:12:00 PM	210.1	0.66	87.7	1.71	2.31
18	2:12:00 PM	211.4	0.65	84.7	1.8	2.43
19	3:12:00 PM	213.5	0.66	87.1	1.88	2.54
20	4:12:00 PM	219.7	0.67	85.5	1.97	2.66
21	5:12:00 PM	217.5	0.65	89.7	2.06	2.78
22	6:12:00 PM	209	0.64	83.4	2.14	2.9
23	7:12:00 PM	206.2	0.64	83.2	2.23	3.01
24	8:12:00 PM	214.8	0.66	85.6	2.31	3.12

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dipaparkan, pembahasan ini menguraikan fungsionalitas dan kinerja sistem secara komprehensif, mulai dari akurasi pengukuran hingga efektivitas kontrol jarak jauh. Secara keseluruhan, sistem ini terbukti berhasil memenuhi tujuan perancangan, yaitu menyediakan solusi kontrol dan *monitoring* daya listrik berbasis IoT yang efisien dan andal. Integrasi antara komponen perangkat keras dan lunak berjalan dengan sangat baik, memungkinkan pengguna untuk memantau konsumsi energi secara *real-time* dan mengendalikan perangkat dari jarak jauh melalui antarmuka yang familier seperti Telegram. Hal ini sesuai dengan harapan awal bahwa sistem ini dapat memberikan kemudahan dan menjadi solusi efektif untuk pengelolaan energi rumah tangga.

Aspek akurasi dan stabilitas pengukuran merupakan salah satu keberhasilan kunci dari alat ini. Dari pengujian catu daya, sistem berhasil meregulasi tegangan dari 12.4 VDC menjadi 4.98 VDC dan 3.32 VDC, menunjukkan stabilitas pasokan daya yang sangat penting untuk kinerja komponen lainnya. Lebih lanjut, perbandingan data dari sensor PZEM-004T dengan alat ukur standar (Tabel 2) menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi. Meskipun terdapat sedikit selisih, terutama pada pengukuran arus yang kecil, nilai *error* rata-rata untuk tegangan berada di bawah 0.2%, sementara untuk arus hanya beberapa persen. Hasil ini mengonfirmasi bahwa sensor PZEM-004T dapat diandalkan untuk menyediakan data kelistrikan yang presisi, yang menjadi fondasi bagi fungsi *monitoring* keseluruhan sistem.

Selain akurasi pengukuran, efektivitas kontrol jarak jauh dan notifikasi melalui Telegram juga menjadi indikator utama keberhasilan proyek. Pengujian kontrol *relay* (Tabel 4) menunjukkan bahwa perintah dari Telegram dieksekusi dengan respons waktu yang sangat cepat dan konsisten, yaitu antara 2.0 hingga 2.5 detik. Kecepatan ini membuktikan latensi rendah pada komunikasi IoT, yang vital untuk aplikasi kontrol. Selain itu, fitur notifikasi dan pembaruan data otomatis setiap 5 menit (Gambar 5) memberikan kemudahan bagi pengguna untuk mendapatkan informasi terkini tanpa harus mengirimkan perintah secara manual. Kombinasi antara kontrol yang responsif dan informasi yang *real-time* ini menunjukkan bahwa sistem ini tidak hanya fungsional, tetapi juga praktis dan efisien untuk mendukung pengguna dalam mengelola penggunaan listrik sehari-hari secara optimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol dan monitoring daya listrik berbasis IoT dengan aplikasi Telegram telah berhasil dirancang, dibangun, dan diuji dengan performa yang memuaskan. Temuan utama menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengukuran parameter listrik (tegangan, arus, dan daya) dengan tingkat akurasi tinggi, didukung oleh sensor PZEM-004T yang menunjukkan *error* rata-rata di bawah 0.2% untuk pengukuran tegangan. Integrasi dengan Telegram juga terbukti efektif, memungkinkan kontrol *relay* dengan respons yang cepat dan konsisten (2.0-2.5 detik) serta penyediaan notifikasi *real-time* yang stabil. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena pengujian dilakukan pada skala terbatas dengan beban spesifik dan periode pengujian yang relatif singkat. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan pengujian stabilitas jangka panjang selama beberapa bulan, memperluas cakupan pengujian dengan berbagai jenis beban (kapasitif dan induktif), serta mengembangkan sistem agar lebih skalabel untuk diaplikasikan di seluruh rumah. Selain itu, penelitian masa depan dapat mempertimbangkan penambahan fitur untuk penyimpanan data historis dan visualisasi grafik konsumsi energi secara periodik, yang dapat memberikan wawasan lebih mendalam bagi pengguna untuk mengoptimalkan efisiensi energi mereka.

DAFTAR REFERENSI

- Emzir. (2015). Metodologi Penelitian Pendidikan: Analisis Data Kualitatif dan Kuantitatif. Rajawali Pers.
- Hasibuan, S. R. (2025). Analisis Efektivitas Pemanfaatan Teknologi Internet of Things (IoT) pada Smart Home dalam Pengelolaan Energi. *Jurnal Kohesi*, 1(2). *Jurnal Kajian Ilmiah*. (2025). 4D Research and Development Model: Trends, Challenges, and Opportunities Review. *Jurnal Kajian Ilmiah*, 25(1), 91–98. <https://doi.org/10.31599/na7deq07>
- Mehmood, R., et al. (2022). A Systematic Review on the Use of AI for Energy Efficiency and Indoor Environmental Quality in Buildings. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/380146480_A_Systematic_Review_on_the_Use_of_AI_for_Energy_Efficiency_and_Indoor_Environmental_Quality_in_Buildings
- PT PLN (Persero). (2025, 6 Agustus). Penjualan Listrik PLN Semester I/2025 Naik Jadi Rp179,58 Triliun. *Bisnis.com*.
- Ratnasari, A., et al. (2022). Perancangan Sistem Monitoring dan Otomasi Lampu Rumah Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram. *Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika (JIK)*, 1(1).
- Sudaryono. (2023). Metode Penelitian Bidang Teknik dan Ilmu Komputer. Deepublish.
- Sugiyono. (2024). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- Sulaeman, H., et al. (2023). Alat Kontrol Akses Pintu Menggunakan Sidik Jari Dengan Notifikasi Telegram Berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro UNP*, 11(1).