

PERANCANGAN *PROTOTYPE* SISTEM KONTROL DAN *MONITORING* PERALATAN LISTRIK PADA RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN SENSOR PZEM-004T BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)*

Oleh:

Fauzie Asra Muharam¹, Didik Notosudjono², Agustini Rodiah Machdi³

ABSTRAK

Penggunaan daya listrik rumah tangga saat ini masih mempunyai kekurangan dalam pemantauan konsumsi daya listrik. serta saat pemadaman listrik PLN yang seringkali terjadi secara tiba-tiba yang disebabkan oleh faktor cuaca ataupun karena terbatasnya jumlah pasokan energi listrik terutama pada waktu pemakaian tinggi (malam hari) yang menyebabkan seringnya terjadi pemadaman listrik tanpa pemberitahuan terlebih dahulu dan saat listrik PLN kembali hidup membuat konsumen listrik rumah tangga tidak dapat mengetahui secara lebih jelasnya peralatan rumah tangga mana yang mengonsumsi listrik. Alat ini yang prinsip kerjanya menggunakan sumber PLN, ketika sumber PLN padam maka dengan bantuan relay omron MK2P yang akan menghidupkan sistem. Pada sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang langsung terdapat modul *wifi* didalamnya dan juga sensor PZEM-004T akan membaca arus dan tegangan yang selanjutnya hasil pembacaan sensor akan dikirim ke web server sebagai media komunikasi untuk mengirim dan membaca perintah yang selanjutnya menjalankan perintah untuk mematikan atau menyalakan stop kontak dengan bantuan relay 5 VDC. Dari hasil pengujian alat yang telah dilakukan, Pengukuran energi terpakai pada beban yang terpasang sebesar 90 watt dengan 4 buah beban yang digunakan sebagai saklar ON/OFF pada beban diantaranya 1 buah lampu, kipas angin, televisi, dan *charger handphone* selama 1 jam menggunakan sensor PZEM-004T adalah sebesar 0,09097 kWh,

Kata kunci: ESP32. Mikrokontroler. PZEM-004T, Web Server, WiFi

ABSTRACT

The current use of household electrical power still has shortcomings in monitoring electrical power consumption. and when PLN power outages often occur suddenly due to weather factors or due to the limited amount of electrical energy supply, especially during times of high usage (at night) which causes frequent power outages without prior notification and when PLN power comes back on it makes Household electricity consumers cannot know more clearly which household equipment consumes electricity. This tool works on the principle of using a PLN source, when the PLN source goes out, with the help of the Omron MK2P relay it will turn on the system. This system uses an ESP32 microcontroller which directly has a WiFi module in it and also a PZEM-004T sensor which will read the current and voltage and then the results of the sensor readings will be sent to the web server as a communication medium to send and read commands which then execute the command to turn off or turn on the stop. contact with the help of a 5 VDC relay. From the results of equipment testing that has been carried out, the measurement of energy used on the installed load is 90 watts with 4 loads used as ON/OFF switches on the load including 1 lamp, fan, television and cell phone charger for 1 hour using the PZEM sensor. -004T is 0.09097 kWh,

Keywords: ESP32. Mikrokontroler. PZEM-004T, Web Server, WiFi.

I. PENDAHULUAN

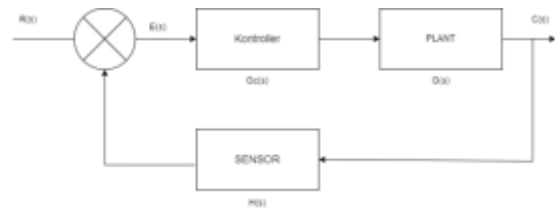
Penggunaan daya listrik rumah tangga saat ini masih mempunyai kekurangan dalam pemantauan konsumsi daya listrik, serta saat pemadaman listrik PLN yang seringkali terjadi secara tiba-tiba yang disebabkan oleh faktor cuaca ataupun karena terbatasnya jumlah pasokan energi listrik terutama pada waktu pemakaian tinggi (malam hari) yang menyebabkan seringnya terjadi pemadaman listrik tanpa pemberitahuan terlebih dahulu dan saat listrik PLN kembali hidup membuat konsumen listrik rumah tangga tidak dapat mengetahui secara lebih jelasnya peralatan rumah tangga mana yang mengonsumsi listrik. Oleh sebab itu, pengguna menduga konsumsi daya akan terbuang percuma. Taraf konsumsi daya ditentukan oleh beban di peralatan listrik serta manfaat peralatan listrik tersebut [1].

Mayoritas pengguna tidak dapat mengontrol peralatan elektronik ketika pengguna melakukan aktivitas di luar sebagai akibatnya dapat membuat besarnya penggunaan listrik. Dengan demikian dibutuhkan sistem yang bisa mengontrol penggunaan listrik dan menampilkan penggunaan daya listrik rumah setiap hari serta setiap saat beserta rekap penggunaan listrik. [1]

II. LANDASAN TEORI

2.1 Perancangan Sistem Kontrol

Rancangan sistem kontrol artinya proses merancang sistem kontrol yang efektif dan efisien untuk mengendalikan suatu proses atau sistem. Rancangan sistem kontrol melibatkan pemilihan jenis kontrol, pemilihan sensor, serta pemilihan algoritma kontrol yang tepat. Rancangan sistem kontrol juga melibatkan pengujian dan penilaian sistem kontrol untuk memastikan bahwa sistem tersebut beroperasi dengan baik. Sistem kontrol lup tertutup ialah sistem yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung dengan pengontrolan, sistem kontrol lup tertutup juga dapat mengontrol umpan balik dengan kata lain istilah lup tertutup berarti menggunakan umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.[2]



Gambar. 1 Sistem Kontrol Loop Tertutup

2.2 Sistem Monitoring

Sistem *monitoring* merupakan suatu sistem yang digunakan untuk memantau serta mengawasi suatu proses atau aktivitas secara terus-menerus. Sistem ini bisa digunakan untuk memantau banyak sekali jenis aktivitas, seperti keamanan, kesehatan, lingkungan, dan lain sebagainya. Pada konteks teknologi informasi, sistem *monitoring* dipergunakan untuk memantau kinerja sistem komputer, jaringan, serta aplikasi [3].

2.3 Internet of Things

Internet of Things (IoT) ialah konsep di mana objek - objek fisik seperti kendaraan, peralatan rumah tangga, serta perangkat medis terhubung ke internet dan dapat saling berkomunikasi serta bertukar data. *Internet of Things (IoT)* juga sudah dipergunakan dalam rumah tangga untuk meningkatkan kenyamanan serta efisiensi. misalnya ialah penggunaan perangkat pintar seperti lampu, kipas angin, serta AC yang bisa dikontrol melalui *smartphone*, dan penggunaan perangkat *smart home* yang bisa mengatur suhu, kelembaban, dan keamanan rumah [4].



Gambar. 2 Konsep Sistem Internet of Things (IoT)

2.4 NodeMCU ESP32 Board

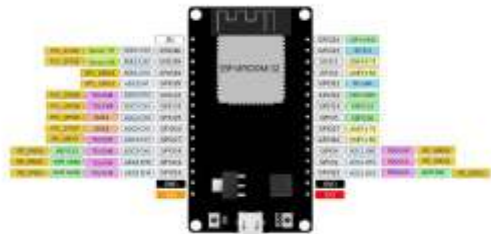
ESP32 mempunyai fungsi sebagai mikrokontroler. Mikrokontroler ini sebagai otak dan pengendali rangkaian elektronik dengan tujuan tertentu. Mikrokontroler berbentuk sebuah chip dengan sistem NodeMCU Wi-Fi 2.4 GHz dan Bluetooth 4.2 yang diproduksi oleh Espressif Sistem. Pada sistemnya, tertanam *microprocessor dual-core*

32-bit LX6 dengan kecepatan 600 MHz, ROM 448 KB, SRAM 520 KB. Dapat dilihat pada gambar di bawah ini [5].



Gambar. 3 Bentuk Fisik ESP2

Board ini mempunyai dua versi, yaitu yang 30 dan 36 GPIO. Keduanya berfungsi menggunakan cara yang sama tetapi versi yang 30 GPIO dipilih sebab memiliki dua pin GND [5].



Gambar. 4 Konfigurasi PIN

2.5 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 (*Hypertext markup Language*) [6].



Gambar. 5 Arsitektur Web Server

2.6 Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T merupakan sensor arus listrik dan tegangan yang dipergunakan untuk mengukur konsumsi daya listrik di suatu perangkat atau sistem. Sensor ini dapat digunakan di berbagai aplikasi, seperti *monitoring* konsumsi daya pada rumah tangga, industri, serta alat - alat elektronik. Sensor PZEM-004T mempunyai kemampuan untuk mengukur arus listrik hingga 100A dan tegangan hingga 220V AC [7].



Gambar. 6 Bentuk Fisik

Dalam pengujian sensor PZEM dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai pembacaan sensor serta nilai pengukuran manual dengan alat ukur, sehingga mampu mengetahui nilai % error. tingkatan nilai error yang baik yaitu di bawah 10%, untuk mendapatkan nilai % error dihitung menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 berikut ini [7]:

$$\%error = \frac{\text{nilai pembacaan sensor} - \text{nilai pembacaan alat ukur}}{\text{nilai pembacaan alat ukur}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{nilai rata - rata error} = \frac{\text{jumlah nilai error}}{\text{banyaknya error yang terjadi}} \quad (2)$$

2.7 Relay 4 Channel

Relay dapat dipergunakan untuk mengontrol sirkuit listrik yang mempunyai tegangan serta arus yang berbeda. Relay terdiri dari beberapa komponen seperti *coil*, kontak, dan rangkaian penggerak. Kontak pada Relay terdiri dari kontak NO (*Normally Open*) dan NC (*Normally Closed*) yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan sirkuit listrik. Rangkaian penggerak di Relay berfungsi untuk mengontrol *coil* sehingga dapat menarik atau melepaskan kontak [8]



Gambar. 7 Relay 5V 4 Channel

2.8 Sistem Instalasi Listrik

Sumber listrik PLN adalah sumber energi listrik yang didapat dari generator *Alternating Current* (AC) pembangkit listrik seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), ataupun pembangkit listrik lainnya yang menghasilkan arus bolak-balik. Daya aktif adalah daya sebenarnya yang digunakan oleh beban yang terpasang, dan memiliki satuan *Joule/detik* atau Watt [9].

$$P = V \times I \times \cos \varphi \text{-----} (3)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Cos phi = Faktor Daya

2.9 Energi Listrik

Energi yang dikirim oleh peralatan listrik dan umumnya diukur dan diberi biaya menggunakan satuan kWh. kWh merupakan satuan tenaga dalam kilowatt per jam. Sebagian besar peralatan berdaya tinggi mempunyai label daya pada bagian belakang peralatan elektronik. Label pada belakang peralatan elektronik dilambangkan “W” (*Watt*). Nilai watt pada peralatan elektronik merupakan daya maksimal yang digunakan pada peralatan listrik saat kondisi menyala. Ditunjukkan dengan persamaan berikut [1].

$$\text{Energi (kWh)} = P \times t \text{-----} (4)$$

2.10 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

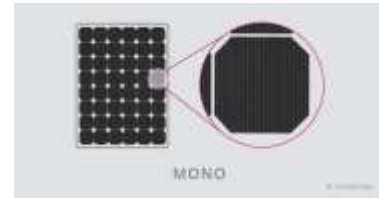
Sebuah pembangkit tenaga yang memanfaatkan radiasi bertenaga matahari untuk menghasilkan energi listrik. energi yang diciptakan ialah cara untuk mengubah energi esensial menjadi energi baru dan energi ramah lingkungan. Bagian utama dari kerangka merupakan panel surya atau sel yang seharusnya berorientasi matahari, yang kapasitasnya untuk mengubah tenaga panas dari radiasi berbasis matahari menjadi energi listrik aliran langsung [10].

2.10.1 Jenis Jenis Sel Surya

Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara umum sel surya dibagi menjadi tiga jenis yaitu diantaranya :

1. Mono-Crystallin

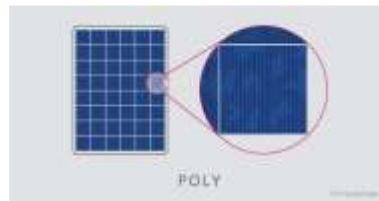
Mono (*Monocrystal*) ialah panel surya paling efisien yang diproduksi dengan memakai teknologi tercanggih serta menghasilkan daya listrik yang besar.



Gambar. 8 Sel Surya Jenis Mono-crystalline

2. Poly-Crystallin

Polycrystal silicon atau multi-kristal merupakan jenis elemen surya dengan kristal acak.



Gambar. 9 Sel Surya Jenis Polycrystalline

3. *Thin Film Sollar Cell* (TFSC) / *Thin Film Photovoltaic Cell* (TFPV)

Kepadatan atom yang rendah berasal sel surya jenis ini membuatnya mudah untuk dibentuk serta diperluas menjadi berbagai ukuran dan potongan, serta umumnya sel surya jenis ini dapat diproduksi dengan biaya rendah.



Gambar. 10 Sel Surya Jenis Thin-Film Solar Cell (TFSC)

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung waktu radiasi matahari adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [33]:

$$\text{Waktu radiasi} = \frac{\text{Radiasi rata-rata} \left(\frac{\text{Wh}}{\text{M}^2} \right)}{\text{Intensitas radiasi modul surya (jam)}} = \text{Jam} \text{-(5)}$$

Setelah diketahui waktu radiasi matahari, kemudian dilakukanlah perhitungan energi listrik rata-rata yang dapat dihasilkan oleh modul panel surya. Adapun energi yang

dihasilkan oleh modul panel surya dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$Energi Modul = P_{modul} \times Waktu radiasi = Wh(6)$$

Setelah itu menentukan jumlah modul panel surya yang digunakan, yaitu dengan menggunakan regenerasi baterai (pengisian baterai dilakukan tanpa beban). Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah modul panel surya adalah sebagai berikut ini [10] :

$$Jumlah\ modul = \frac{E_{total} \times t_{otonomi}}{Energi\ modul \times t_{regenerasi}} = Modul(7)$$

2.11 Baterai

Baterai dibedakan menjadi beberapa macam yaitu tipe basah konvensional (*flooded lead acid*), *sealed lead acid* (SLA), *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA), gel, serta *Absorbed Glass Mat* (AGM). tetapi pada pengaplikasiannya terutama pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya lebih banyak menggunakan jenis baterai *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) dikarenakan nilai efisiensinya yang tinggi serta cenderung ekonomis [38]. Untuk menghitung kapasitas baterai harus dihitung muatan baterai terlebih dahulu, adapun muatan baterai dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini [11].

$$Q_{baterai}(Ah) = \frac{Wh}{V_{op}} = Ah \text{-----} (8)$$

Baterai di *charge* dengan menggunakan panel surya pada siang hari, untuk mengetahui estimasi waktu yang dibutuhkan untuk mencharge baterai dengan kapasitas 7,5 Ah 12 VDC hingga terisi penuh dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Estimasi\ Waktu\ Charge = \frac{Kapasitas\ baterai}{Efisiensi \times Arus\ panel\ surya} = Jam(9)$$

Karena baterai akan digunakan untuk menghidupkan beban listrik pada saat suplai utama PLN padam, maka kapasitas energi baterai pun akan menyusut oleh karena itu untuk dapat mengetahui estimasi yang dibutuhkan untuk dis-charge baterai dapat diketahui dengan menggunakan persamaan \ berikut :

$$Estimasi\ Waktu\ dis - charge = \frac{Kapasitas\ baterai \times Tegangan\ baterai}{Efisiensi \times Beban\ yang\ digunakan} = Jam \quad (10)$$

2.12 Automatic Transfer Switch

ATS adalah singkatan dari kata *Automatic Transfer Swicth*, Bila dipahami menurut arti

kata tersebut maka ATS ialah sakelar yang bekerja otomatis, namun kerja otomatisnya berdasarkan kemungkinan jika sumber listrik dari PLN terputus atau mengalami pemadaman maka sakelar akan berpindah ke sumber listrik yang lainnya misalnya ialah Inverter. *Automatic Transfer Switch* adalah rangkaian kontrol sakelar power inverter dengan PLN yang sudah *full automatic*. alat ini bermanfaat untuk menghidupkan serta menghubungkan power inverter ke beban secara otomatis ketika PLN padam. pada saat PLN hidup kembali, alat ini akan memindahkan sumber daya ke beban dari power inverter ke PLN [12].

2.13 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah arus searah (*DC*) menjadi arus bolak-balik (*AC*). Pada sistem PLTS arus yang dihasilkan yaitu arus searah (*DC*) oleh karena itu dibutuhkanlah inverter untuk mengubahnya agar dapat menyuplai arus *AC*. Pada sistem PLTS inverter digunakan untuk menyuplai daya pada perangkat yang menggunakan arus *AC* (*alternating current*) dalam hal ini inverter difungsikan sebagai penyedia listrik cadangan dirumah maupun dikendaraan sebagai *emergency power* pada saat aliran listrik PLN dirumah padam [13].



Gambar. 11 Inverter

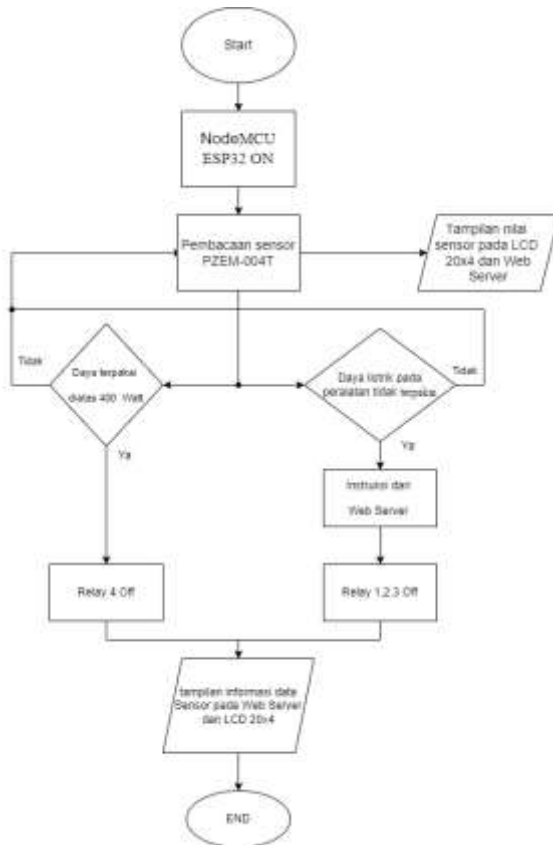
III. PERANCANGAN ALAT DAN PEMROGRAMAN

3.1 Gambaran Umum

Perancangan prototipe sistem kontrol dan *monitoring* ini bekerja untuk mencegah kelalaian yang disebabkan oleh pengguna peralatan listrik rumah tangga ketika berada diluar rumah atau sedang berpergian. Perancangan Sistem Kontrol dan *monitoring* ini menggunakan mikrokontroler jenis NodeMCU ESP32 dan dibantu oleh *web server* sebagai media kontrol dan monitoring yang berbasis *Internet of Things*. Pada mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang terdapat modul wifi dimanfaatkan sebagai

interkoneksi sistem dengan *web server* untuk mengontrol serta memantau sistem dari jarak jauh secara *real time* menggunakan jaringan internet. Sensor yang digunakan ialah sensor PZEM-004T yang dapat mendeteksi penggunaan tegangan, arus, kwh, watt dan lainnya.

3.2 Diagram Alir



Gambar. 12 Flowchart Perancangan Prototipe Sistem Kontrol dan Monitoring Peralatan Listrik Rumah Tangga Menggunakan Sensor PZEM-004T Berbasis Internet of Things

Dalam Perancangan *Prototype* Sistem Kontrol dan *Monitoring* Peralatan Listrik Rumah Tangga Menggunakan Sensor PZEM-004T Berbasis *Internet of Things*. Pada tahap awal sistem ini ada pembacaan data tegangan, arus, frekuensi, energi pada sensor PZEM-004T, dan pembacaan data tersebut dapat ditampilkan secara langsung berupa informasi parameter nilai pembacaan sensor pada LCD 20x04 pada fisik sistem dan ditampilkan juga secara virtual pada *web server*. Pada saat sensor PZEM-004T dalam keadaan pemakaian daya rumah tangga tidak melebihi 400 watt atau di bawahnya. Maka eksekusi selanjutnya sistem mengirim informasi pada tampilan LCD 20x4 dan dapat

di kontrol otomatis melalui web server. Pada saat sensor PZEM-004T membaca pemakaian daya pada rumah tangga mencapai 400 watt atau di atas nya, maka eksekusi selanjutnya sistem mengirim informasi melalui LCD 20x4 dan akan secara otomatis menonaktifkan salah satu relay (relay 4).

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Program Utama

Program yang dibuat pada pembuatan Perancangan *Prototype* Sistem Kontrol dan *Monitoring* Peralatan Listrik Pada Rumah Tangga Menggunakan Sensor PZEM-004T Berbasis *Internet of Things* (IoT) merupakan sebuah program yang menggunakan bahasa pemrograman C yang akan diunggah pada mikrokontroler ESP32 dengan menggunakan arduino ide sebagai *software* untuk pembuatan program tersebut.

4.2 Prosedur Pengujian Alat

Prosedur pengoperasian alat merupakan langkah yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sistem kontrol dan *monitoring* peralatan listrik, sehingga dapat bekerja sesuai dengan program yang telah dibuat. Adapun langkah kerja pengoperasian nya sebagai berikut :

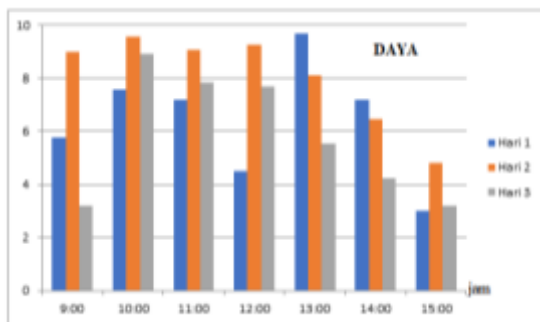
1. Menghidupkan hotspot pada modem Wifi.
2. Adaptor dihubungkan dengan sumber tegangan 220 VAC. Jika tegangan PLN padam maka tegangan otomatis disuplai oleh inverter yang terhubung ke sistem panel surya.
3. Diletakan sistem *back up* panel surya di bawah sinar matahari, maka panel surya akan mengisi daya pada baterai.
4. Setelah hotspot dihidupkan, alat akan secara otomatis terhubung ke wifi yang telah diatur pada program.
5. Saat sistem terkoneksi dengan internet dan dalam mode *stand by* yang ditampilkan LCD 20x04 akan menampilkan nilai tegangan, arus, watt.
6. Kemudian masuk ke web server dengan ip pada browser untuk melakukan verifikasi dengan memasukan akun yang terhubung ke sistem.
7. Untuk *memonitoring* tegangan, arus, watt, faktor daya beban yang terpakai hanya perlu mengakses web server dan dapat diakses dari jarak jauh.

8. Pada saat sistem mendeteksi keadaan pemakaian daya normal, maka sistem dapat mengontrol pemakaian secara manual melalui web server.
9. Pada saat sistem mendeteksi keadaan pemakaian daya lebih dari 400 watt, maka sistem akan otomatis mematikan salah satu relay yang terhubung ke beban.

4.3 Pengujian Dan Analisa Sistem Backup PLTS

Pengujian ini dilakukan pada komponen yang memiliki fungsi untuk menghidupkan komponen-komponen lainnya. Komponen yang bersifat menghasilkan daya antara lain yaitu Panel surya dan baterai. Analisis ini dilakukan pada sumber tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya yang akan digunakan untuk mencharge baterai sebagai backup sumber listrik apabila sumber utama PLN mengalami pemadaman. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan menggunakan multimeter yang dimana dilakukan percobaan selama 3 (tiga) hari, dengan perharinya dilakukan pengukuran sebanyak 7 kali pengukuran.

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan pada panel surya menghasilkan rata-rata daya maksimum jam 11.00, mengalami penurunan kembali pada jam 15:00 Hal tersebut terjadi karena intensitas pancaran sinar matahari yang menurun karena peralihan dari waktu siang ke sore hari dan cuaca kembali mendung hujan



Gambar. 13 Grafik Pengukuran Daya Pada Panel Surya Selama Tiga Hari

4.3.1 Perhitungan Kapasitas dan Pengisian Baterai

Dalam menentukan muatan baterai untuk mensuplai beban yang terpasang ketika suplai sumber utama PLN mengalami suatu gangguan yang menyebabkan pemadaman yang diasumsikan selama 1 jam dengan total

kebutuhan energi 90 Wh untuk menghidupkan lampu, kipas angin, televisi, dan *charger handphone* dengan total daya sebesar 90 Watt dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel. 1 Jumlah Pemakaian Energi Listrik

No	Nama Alat	Beban Terpasang (Watt)	Waktu (Jam)	Energi (Wh)
1	Lampu 220 VAC	10 Watt	1	10
2	Kipas Angin	40 Watt	1	40
3	Televisi	30 Watt	1	30
4	Charger Handphone	10 Watt	1	10
Jumlah Beban Terpasang		90 Watt		90 Wh

Kapasitas tegangan dan arus yang terdapat pada baterai jika dibebankan pada suatu beban listrik maka tegangan yang terdapat pada baterai tersebut akan habis seiring berjalannya waktu

$$Q_{baterai} = \frac{\text{Energi}}{V_{op}(\text{Nominal baterai})}$$

$$Q_{baterai} = \frac{90}{12} = 7,5 \text{ Ah}$$

Maka, untuk perhitungan estimasi waktu yang dibutuhkan untuk charge baterai dapat diketahui dengan

$$\text{Estimasi Waktu Charge} = \frac{\text{Kapasitas baterai}}{\text{Efisiensi} \times \text{Arus panel surya}}$$

$$\text{Estimasi Waktu Charge} = \frac{7,5 \text{ Ah}}{80\% \times 0,57 \text{ A} \times 1}$$

$$= 16 \text{ jam } 44 \text{ menit (2 Hari)}$$

Jadi lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi daya pada baterai dengan kapasitas 7,5 Ah adalah 16 jam 44 menit atau 2 hari hal ini didapatkan pada saat panel surya menghasilkan daya maksimumnya.

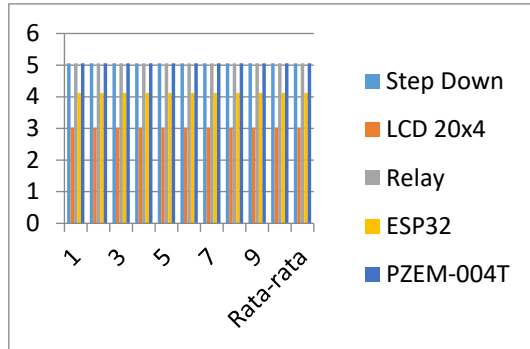
Maka perhitungan estimasi waktu yang dibutuhkan untuk menghidupkan beban dari baterai full sampai habis dapat diketahui dengan

$$\text{Estimasi Waktu dis - charge} = \frac{\text{Kapasitas baterai} \times \text{Tegangan baterai}}{\text{Efisiensi} \times \text{Total beban}}$$

$$\text{Estimasi Waktu dis - charge} = \frac{7,5 \text{ Ah} \times 12 \text{ V}}{80\% \times 90 \text{ W}} = 1 \text{ jam } 25 \text{ menit}$$

4.4 Pengujian dan Analisa Sistem Mikrokontroler

Terdapat hasil dan Analisa terhadap tegangan mikrokontroler yang digunakan pada prototipe sistem kontrol dan *monitoring*



Gambar. 14 Grafik Hasil Pengujian Mikrokontroler

4.5 Pengujian Sistem Kendali

Pengujian sistem kendali bertujuan untuk mengetahui apakah relay bekerja dengan baik atau tidak. Relay yang digunakan pada penelitian ini adalah modul relay dengan 4 *channel*, masing-masing *channel* pada relay dihubungkan dengan perangkat elektronik yang memiliki tegangan sebesar 220V dan dihubungkan juga dengan tegangan sumber di rumah untuk mengalirkan arus listrik menuju perangkat elektronik saat *relay* dalam keadaan *Normally Open*. dan dalam keadaan *Normally Close* semua perangkat yang terhubung akan terputus secara otomatis

Tabel. 2 Pengujian Relay Terhadap Perangkat

No	Perangkat	Kondisi relay	Hasil indikator pada perangkat
1	Lampu 220 VAC	On	Nyala
2	Kipas Angin	Off	Mati
3	Televisi	Off	Mati
4	Charger Handphone	Off	Mati

4.6 Pengujian dan Analisis Sensor PZEM-004T

4.6.1 Kinerja Sensor PZEM-004T Pada Sistem

Pengujian dan analisis ini untuk mengetahui proses sensor PZEM-004T dapat terbaca dengan baik menggunakan ESP32 melalui komunikasi UART pada saat sistem beroperasi dengan lampu 10 watt dalam kurun waktu 1 jam kemudian dilakukan pengukuran daya menggunakan persamaan berikut diambil dengan 3 data seperti tabel di bawah ini :

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

Tabel. 3 Hasil Pembacaan Tegangan AC, Arus AC, Faktor Daya dengan beban lampu 10 Watt dalam waktu 1 jam

Jam	Tegangan (V)	Arus (I)	Faktor Daya (pF)	Daya Terukur (Watt)
09.00	221,60 V	0,08 A	0,59	10,45 W
09.30	222 V	0,08 A	0,59	10,47 W
10.00	218,50 V	0,08 A	0,59	10,31 W

4.6.2 Perhitungan Energi Yang Terpakai

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan energi listrik yang dipakai dalam rentan waktu tertentu berdasarkan dari pengukuran energi pada beban yang digunakan sebelumnya menggunakan persamaan 2.6. Pengujian dilakukan dengan cara menyalakan beban selama 1 jam yang ditunjukkan pada tabel 4.11 berikut ini :

$$\text{Energi (kWh)} = P \times t$$

$$\begin{aligned} \text{Energi (kWh)} &= 10,47 \times 1 \text{ jam} \\ &= 10,47 \text{ Wh} = 0,01047 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Tabel. 4 Hasil Pengukuran Penggunaan Energi Dalam Waktu 1 Jam

Beban	PZEM-004T	Biaya (Rp)
Lampu 10 watt	0,01047	4,34505
Kipas angin	0,0414	17,181
Televisi	0,029	12,035
Beban	PZEM-004T	Biaya (Rp)
Charger handphone	0,0101	4,1915

4.6.3 Pengujian Beban Pada Alat Ukur Multimeter dan Sistem

Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan listrik rumah tangga. Beban yang digunakan antara lain: Lampu LED yang berdaya 10 W, kipas angin, televisi LCD, dan Charger Handphone 10 watt. Pengujian ini dilakukan dari setiap beban yang akan digunakan untuk mengetahui nilai dari akurasi alat yang dirancang. Kemudian akan dilakukan persentase kesalahan yang didapatkan dari setiap beban peralatan listrik rumah tangga menggunakan persamaan berikut ini :

$$\%error = \frac{\text{nilai pembacaan sensor} - \text{nilai pembacaan alat ukur}}{\text{nilai pembacaan alat ukur}} \times 100\%$$

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan persentase kesalahan yang didapat dari setiap pengujian maka akan dicari nilai Rata-Rata kesalahan dari semua nilai kesalahan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{nilai rata - rata error} = \frac{\text{jumlah nilai error}}{\text{banyaknya error yang terjadi}}$$

a. Hasil Pengujian Nilai Akurasi Pada Tegangan

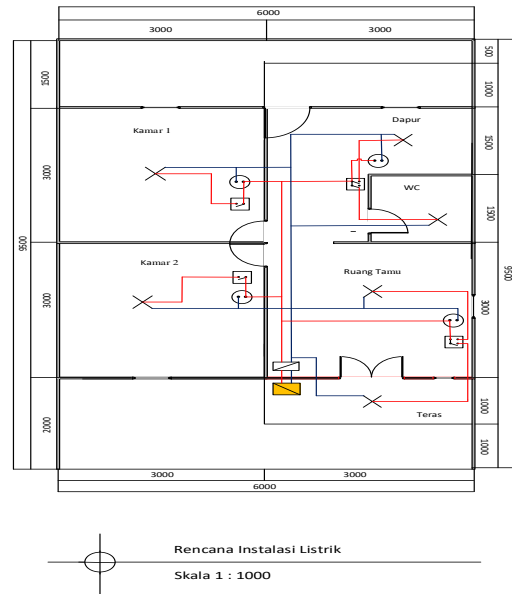
Dilakukan pengukuran tegangan maka diperoleh data dari setiap beban pada peralatan listrik rumah tangga dengan alat ukur rancangan, kemudian akan dibandingkan dengan alat ukur standar maka diperoleh data perbandingan sebagai berikut.

Tabel. 5 Pengujian Akurasi Pada Tegangan

Beban Listrik	Tegangan (V) pada sensor	Tegangan (V) pada alat ukur	Error
Lampu	217,60	217,10	0,0023 %
Kipas	215,30	214	0,0060 %
Televisi LCD	218,80	218,10	0,0032 %
Charger Handphone	215,20	214,10	0,0051 %
Rata-rata			0,0041 %

Dari hasil pengujian perbandingan pengukuran melalui sensor dan alat ukur manual didapatkan rata-rata error yaitu 0,0041 %, nilai tersebut masih tergolong baik karena nilai error masih dibawah 10 %.

4.7 Desain Fisik



Gambar. 15 Wiring Diagram Instalasi Listrik

Dalam dalam Perancangan *Prototype* Sistem Kontrol dan *Monitoring* Peralatan Listrik Rumah Tangga Berbasis *Internet Of Things* (IoT) dirancang dan direalisasikan dengan menggunakan Mikokontroler ESP32. Mikokontroler ini dipilih karena penggunaannya yang mudah serta memiliki jumlah pin yang banyak dan sudah bisa terhubung dengan Internet. Kemudian web server sebagai *interface* yang dapat diakses melalui *smartphone* maupun platform lainnya mengirimkan data kontrol melalui koneksi jaringan internet yang akan diterima oleh ESP32.

Sehingga ESP32 bisa mengendalikan stop kontak yang terhubung dengan peralatan elektronik yang ada dirumah dengan cara menghubungkan *supply* daya listrik yang terhubung dengan peralatan elektronik ke *relay* sebagai penghubung (*on*) dan pemutus (*off*) daya listrik. Peralatan yang umumnya berada pada rumah yang bisa dikendalikan melalui stop kontak yang terhubung dengan sakaler yaitu lampu dan juga peralatan listrik rumah tangga lainnya seperti kipas angin, televisi, dan *charger handphone*. Kemudian untuk sistem *backup* dapat mensuplai tegangan secara otomatis ketika listrik PLN padam.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada bab IV maka didapatkan kesimpulan dari data-data yang telah diambil sebagai berikut :

1. Nilai rata-rata daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya adalah sebesar 9,39 Wp. Dan daya tersebut akan disimpan pada baterai yang berkapasitas 7,5 Ah 12 VDC, yang kemudian dapat *mencharger* baterai dari keadaan kosong sampai menjadi *full* membutuhkan waktu sekitar 16,44 jam. Energi yang tersimpan pada baterai tersebut akan diubah menjadi 220 VAC untuk menghidupkan sistem *backup* tenaga listrik pada saat sumber listrik utama (PLN) mengalami gangguan yang mengakibatkan pemadaman listrik.
2. Sistem kendali menggunakan Relay 5V 4 Channel yang dikendalikan dengan *web server* dengan 4 beban yang digunakan sebagai saklar ON/OFF pada beban diantaranya 1 buah lampu, kipas angin, televisi, dan *charger handphone*.
3. Pengukuran energi terpakai pada beban yang terpasang sebesar 90 watt selama 1 jam menggunakan sensor PZEM-004T adalah sebesar 0,09097 kWh,
4. Pada sistem monitoring didapat besaran persentase nilai selisih atau eror yang didapat dari perbandingan dengan alat ukur standar dan sensor meliputi:
 - Selisih Tegangan Rata - Rata sebesar 0.0041 %,
 - Selisih Arus Rata - Rata Sebesar 0.105 %,
 - Selisih Daya Rata - Rata Sebesar 1.58 %

Nilai tersebut masih tergolong baik karena nilai error masih dibawah 10 % sesuai dengan *datasheet*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. L. Sapriyanto, "Sistem Kontrol dan Monitoring Daya Listrik Rumah Berbasis Internet of Things," *Universitas Dinamika Surabaya*,. 2022,
- [2] F. W. Prithatnoko, "Perawatan Sistem Kontrol Di Kapal Self Propelled Oil Barge Jelita Nadia PT. Agniputra Jaya Kusuma," *Karya Tulis*, 2019
- [3] Kurniawan, "Sistem Monitoring Kinerja Jaringan," *Jurnal Teknologi gosip dan Komunikasi*, pp. 45-52, 2018.
- [4] Z. A. , "Internet of Things For Smart Cities." *IEEE Internet of Things Journal*, pp. 22-32, 2014.
- [5] A. N. Mahriza, "Rancang Bangun Prototype Perangkat Tikus Berbasis IoT (Internet Of Things)," *Universitas Gadjah Mada*, 2021.
- [6] A. S. , "Pembangunan Perangkat Lunak Web Scraping Untuk Situs Berita Dan Peringkat Berita," *UAJY*, 2015.
- [7] Yulistiani, "Alat Pembatas Arus Adjustable Limiter Berbasis Mikrokontroler," *Universitas Siliwangi*, 2023.
- [8] K. D. "Sistem Kendali Otomatis," Yogyakarta : Andi Offset, 2018.
- [9] N. T. , "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler," *E-Journal Tek Elektro dan Komputer*, pp. 19-26, 2018.
- [10] H. R. , "Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif," *Jurnal Sains*, pp. 79-87, 2021
- [11] A, Pratiwi I, "Analisis Perbandingan Baterai Lithiumion, Lithium-Polymer, Lead Acid Dan Nickel-Metal Hydride Pada Penggunaan Mobil Listrik," *Jurnal Rekayasa Mesin*, pp. 95-99, 2015.
- [12] Eko, Susanto, "Automatic Transfer Switch," *Jurnal Teknik Elektro*, 2013.
- [13] Ichan. D, "Perancangan Inverter Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 200 Wp Dengan Sistem Solar Charge". Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara , Medan, 2020.

PENULIS

- [1] **Fauzie Asra Muharam, S.T.** Alumni (2024) Program Studi Teknik Elektro - Fakultas Teknik - Universitas Pakuan Bogor. muharamfauziasra@gmail.com
- [2] **Prof. DR. Ir. H. Didik Notosudjono, M. Sc. IPU. Asean. Eng.** Dosen Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.
- [3] **Agustini Rodiah Machdi, S.T., M.T.** Dosen Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.