

SISTEM KONTROL OTOMATIS PLTS DAN PLN PADA BEBAN LISTRIK DI LABORATORIUM ROBOTIKA BERBASIS IOT

Fengki Arianto¹, Eko Mardianto², Wiwit Indah Rahayu³, M. Ridhwan Sufandi⁴
Yohannes C. H. Yuwono⁵

Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Pontianak
Jl. Jenderal Ahmad Yani, Pontianak 78124, Telp. +62 561 736180, Fax. +62561740143
<https://polnep.ac.id>

fengkiariyanto111@gmail¹,

ABSTRACT

The Department of Electrical Engineering has a Solar Power Plant in the robotics laboratory; however, its utilization has not been optimal and still relies heavily on electricity supplied by the national grid, which poses risks such as unexpected blackouts. This research aims to optimize the use of renewable energy through an automatic control system based on the Internet of Things (IoT). The system uses an Arduino Uno as the main microcontroller and an ESP32 to send data to the ThingSpeak platform. The PLTS serves as the primary power source, while PLN functions as a backup. The system automatically switches the power supply to PLN when the PLTS battery voltage drops below 10.8 V and switches back to PLTS when the voltage exceeds 13.2 V. Data such as battery voltage, load voltage, current, and load power are displayed on an I2C LCD and visualized on ThingSpeak. Testing results show that the system operates as designed, with sensor readings matching those of manual measuring instruments, and the power supply switching occurs stably within just 1 second. After two days of testing, the system successfully reduced dependency on PLN and maximized the use of PLTS power to support students' laptops in the robotics laboratory.

Keywords: Solar Power Plant, Hybrid System, Automatic Transfer Switch (ATS), Renewable Energy, Internet of Things (IoT)

ABSTRAK

Jurusan Teknik Elektro memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di laboratorium robotika, namun pemanfaatannya belum optimal dan masih bergantung pada suplai listrik PLN, yang berpotensi menimbulkan gangguan seperti pemadaman. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan melalui sistem kontrol otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Sistem menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler utama dan ESP32 untuk mengirim data ke platform ThingSpeak. PLTS difungsikan sebagai sumber energi utama, sedangkan PLN menjadi cadangan. Sistem secara otomatis memindahkan suplai daya ke PLN ketika tegangan baterai PLTS turun di bawah 10,8 V, dan kembali ke PLTS saat tegangan melebihi 13,2 V. Data seperti tegangan baterai, tegangan beban, arus, dan daya beban ditampilkan pada LCD I2C dan divisualisasikan di ThingSpeak. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja sesuai rancangan, dengan akurasi pembacaan sensor sama seperti alat ukur manual, serta perpindahan suplai berlangsung stabil hanya dalam waktu 1 detik. Pengujian dua hari membuktikan sistem dapat mengurangi ketergantungan pada PLN dan memaksimalkan pemanfaatan daya PLTS untuk mendukung operasional laptop mahasiswa di laboratorium robotika.

Kata kunci: PLTS, Sistem Hybrid, Otomatis, ATS, Energi Terbarukan, IoT.

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi fokus global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menekan dampak lingkungan. Salah satu sumber EBT yang potensial adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), terutama di negara tropis seperti Indonesia yang memiliki rata-rata intensitas penyinaran matahari sekitar 4,3 hingga 6 kWh/m² per hari [1].

Namun, penggunaan PLTS menghadapi tantangan seperti penurunan produksi listrik saat cuaca mendung atau malam hari yang dapat mengurangi efisiensi panel surya. Oleh karena itu, kombinasi dengan suplai listrik dari Pembangkit Listrik Negara (PLN) sering diterapkan untuk menjaga kestabilan pasokan. PLN sendiri memiliki kapasitas terpasang sekitar 63.300 MW pada tahun 2020, yang sebagian besar masih berasal dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil [2].

Jurusan Teknik Elektro memiliki PLTS dengan daya yang terpasang sebesar 600 W dari inverter *low frequency* di laboratorium robotika. Namun, pemanfaatannya belum optimal karena masih bergantung penuh pada suplai listrik dari PLN. Kondisi ini menimbulkan risiko gangguan aktivitas akibat pemadaman mendadak, serta menghambat pemanfaatan energi terbarukan.

Penelitian ini merancang sistem kontrol otomatis berbasis Internet of Things (IoT) untuk mengoptimalkan penggunaan PLTS sebagai sumber energi utama dan PLN sebagai cadangan. Sistem akan memindahkan suplai daya secara otomatis berdasarkan batas tegangan baterai, serta memantau data tegangan, arus, dan daya secara real-time melalui platform ThingSpeak. Diharapkan, implementasi sistem ini dapat mengurangi ketergantungan pada PLN dan mendukung keberlanjutan pemanfaatan energi terbarukan di laboratorium robotika.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Menentukan Daya Beban

Rancangan ini dilakukan untuk memastikan bahwa beban utama yaitu berupa perangkat komputer (laptop) mahasiswa dapat beroperasi dengan daya efektif sebesar 540 W dari inverter *low frequency* daya 600 W untuk menjaga

inverter dalam kondisi baik dan panas berlebih. Setiap perangkat memiliki konsumsi daya listrik sesuai spesifikasinya. Pada proyek ini, diasumsikan beban yang terhubung ke PLTS berupa laptop dengan konsumsi daya rata-rata 45–65 W. Jumlah laptop yang dapat disuplai PLTS dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Jumlah laptop} = \frac{P\eta}{P} \quad (1)$$

Keterangan:

$P\eta$ = Daya Efektif

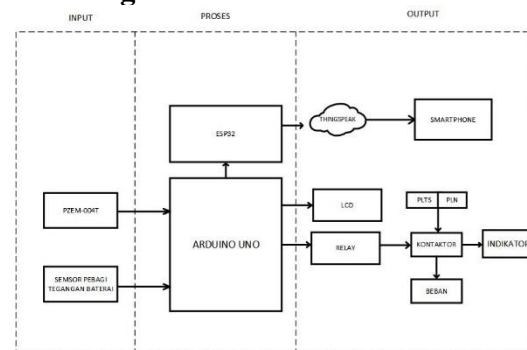
P = Daya

Dari persamaan diatas, maka:

$$\text{Jumlah max laptop} = \frac{540 \text{ W}}{45 \text{ W}} = 12 \text{ buah laptop}$$

$$\text{Jumlah Min laptop} = \frac{540 \text{ W}}{65 \text{ W}} = 8 \text{ buah laptop}$$

2.2. Diagram Blok Sistem



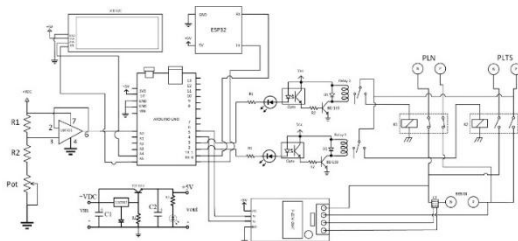
Gambar 1. Diagram Blok

Gambar 1 menjelaskan alur kerja sistem kontrol otomatis berbasis IoT yang mengatur perpindahan sumber listrik antara PLTS dan PLN. Sistem akan secara otomatis mengalihkan beban ke PLN ketika sensor mendeteksi tegangan baterai turun di bawah 10,8 V, dan kembali terhubung ke PLTS saat tegangan naik di atas 13,2 V; selain itu, jika daya beban mencapai batas maksimal 540 W, suplai juga akan beralih ke PLN. Data tegangan, arus, dan daya ditampilkan melalui LCD dan dikirim secara real-time ke platform ThingSpeak. Komponen input terdiri dari sensor tegangan untuk memantau baterai dan sensor Pzem-004T untuk mengukur parameter listrik beban, dengan Arduino Uno sebagai pengolah data utama dan ESP32 sebagai modul pengirim data melalui Wi-Fi. Output sistem mencakup tampilan data di LCD untuk pemantauan lokal dan ThingSpeak

untuk pemantauan jarak jauh, serta relay yang mengontrol kontaktor guna mengatur perpindahan sumber listrik ke beban, didukung oleh indikator lampu: merah untuk PLN dan hijau untuk PLTS.

2.3. Wiring Sistem

2.3.1. Wiring Keseluruhan



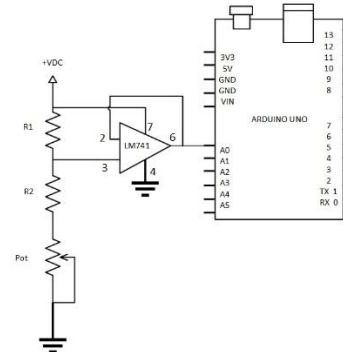
Gambar 2. Wiring Keseluruhan

Arduino uno merupakan komponen yang berperan sebagai pengontrol utama dalam sistem ini. Arduino berfungsi menerima data dari sensor lalu dikirim ke ESP32 untuk menampilkan data ke platform ThingSpeak dan LCD. Berikut tabel koneksi komponen yang terhubung ke Arduino Uno.

Tabel 1. Koneksi komponen

Pin Arduino Uno	Connect	Pin
5V	Vout regulator	+5V
GND		GND
RX	ESP32	TX
TX		RX
D2	Relay 1	S
D3	Relay 2	S
D4	P-Zem 004T	TX
D5		RX
A0	Sensor VDC	Vout
A1	Sensor VAC	Vout
A4	LCD I2C	SDA
A5		SCL

2.3.2 Wiring Sensor Tegangan



Gambar 3. Rangkaian Sensor Tegangan

Gambar 3 merupakan sensor tegangan yang menggunakan rangkaian pembagi tegangan dengan dua buah resistansi yang dirangkai secara seri. Rangkaian pembagi tegangan biasanya digunakan sebagai tegangan referensi dari sumber yang lebih besar, titik tegangan referensi pada sensor, untuk memberikan bias pada rangkaian penguat untuk memberikan bias pada komponen aktif [3]. Output dari sensor atau vout dari rangkaian tersebut akan dihubungkan ke pin analog arduino uno untuk diolah dan menjadikan data tersebut sebagai parameter. Pin analog dari arduino uno hanya dapat menerima tegangan dalam rentang 0 hingga 5 V saja karena jika tegangan yang masuk melebihi batas yang sudah ditentukan maka akan merusak arduino itu sendiri, maka dari itu perlu menentukan nilai resistansi yang digunakan untuk menurunkan tegangan 13.2 V dari baterai ke tegangan sebesar 5 V. Untuk mengetahui berapa nilai output dari sebuah rangkaian pembagi tegangan dapat menggunakan persamaan 2.

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Dimana Vout merupakan tegangan keluaran, Vin Tegangan input dan R merupakan resistansi. Untuk mengetahui berapa nilai resistansi yang sesuai agar nilai tegangan 13.2 V dari baterai bisa menghasilkan tegangan keluaran Vout sebesar kurang lebih 5 V dengan menentukan nilai R1 yang digunakan dan dapat menggunakan persamaan 2.

$$V_{out} = 5V$$

$$V_{in} = 13.2V$$

Pada perancangan sensor tegangan R1 menggunakan resistansi sebesar 10kΩ.

Maka:

$$5 = 13.2 \times \frac{R_2}{R_2 + 10k}$$

$$5 \times (10k + R_2) = 13.2 \times R_2$$

$$50k + 5R_2 = 13.2R_2$$

$$50k = 13.2R_2 - 5R_2$$

$$50k = 8.2R2$$

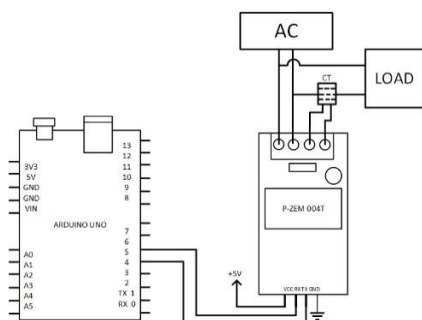
$$R2 = \frac{50k}{8.2} \approx 6,097.56\Omega$$

Dari perhitungan di atas maka didapat nilai R2 sebesar 6,097.56Ω namun untuk menghindari kesalahan dalam perhitungan atau perbedaan nilai tegangan pada baterai yang diperhitungkan, rangkaian dapat ditambahkan trimpot 10kΩ dan nilai resistansi sebesar 2kΩ untuk penyesuaian kalibrasi untuk mendapatkan tegangan keluaran yang diinginkan.

Tabel 2. Spesifikasi Komponen Sensor Tegangan

Komponen	Nilai/Spesifikasi	Fungsi
Op-Amp	LM741	Berfungsi sebagai buffer untuk mengisolasi impedansi sensor dari input Arduino, meningkatkan akurasi pembacaan
R1	10kΩ	Menentukan rentang pengukuran sensor
R2	2kΩ	Sebagai sensor dengan nilai resistansinya berubah berdasarkan kondisi yang diukur.
Trimpot	10kΩ	Memungkinkan penyesuaian manual pada rangkaian, bisa digunakan untuk kalibrasi atau pengaturan sensitivitas

2.3.3. Wiring Sensor Pzem-004T



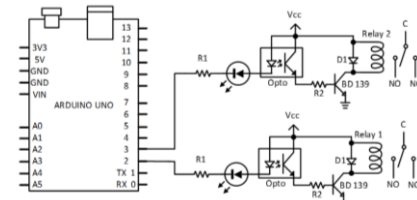
Gambar 4. Wiring Sensor Pzem-004T

Sensor Pzem-004T memiliki 4 pin utama diantaranya, pin 5V, RX (Receiver), TX (Transmit), dan GND (Ground). Pada perancangan ini sensor Pzem-004T dihubungkan ke Arduino uno untuk mengambil data dari parameter sumber listrik yang digunakan untuk menyuplai beban di laboratorium robotika. Pin VCC sensor Pzem-004T digunakan untuk menyuplai daya ke sensor Pzem-004T yang dihubungkan ke suplai 5 V dari regulator

tegangan untuk memastikan sensor mendapat daya yang dibutuhkan agar bisa berfungsi dengan baik. Sedangkan untuk pin RX dan TX dari sensor Pzem-004T dihubungkan ke pin digital arduino dengan menggunakan software serial.

Pzem-004T adalah sensor untuk mengukur arus, tegangan, daya, dan energi aktif pada aliran listrik, yang dapat diintegrasikan dengan Arduino atau platform open source lainnya. Modul ini menggunakan trafo arus berdiameter 3 mm untuk mendeteksi arus hingga 100 A. Sensor ini dirancang khusus untuk penggunaan dalam ruangan, dan beban yang terpasang tidak boleh melebihi daya yang telah ditetapkan [4].

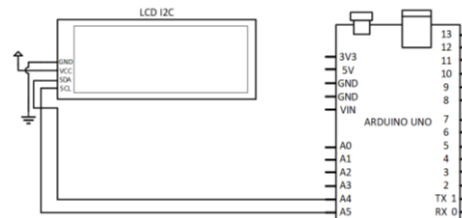
2.3.4. Rangkaian Relay



Gambar 5. Rangkaian Relay terintegrasi ke Arduino Uno

Rangkaian relay dirancang untuk menjadi saklar yang memberikan aliran listrik ke coil kontaktor yang memerlukan daya listrik tinggi menggunakan sinyal listrik berdaya rendah dari arduino uno. Dalam perancangan menggunakan 2 buah rangkaian relay dikarenakan ada dua buah kontaktor yang akan di kontrol oleh arduino. Relay 1 dihubungkan ke pin D2 arduino dan relay 2 dihubungkan ke pin D3 arduino dan mendapat suplai 5 V dari regulator tegangan.

2.3.5. Wiring LCD ke Arduino Uno

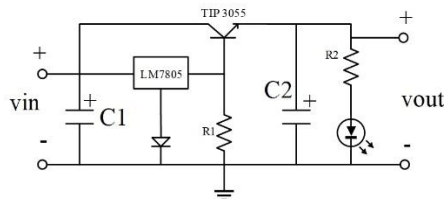


Gambar 6. Wiring LCD I2C

Arduino Uno bertindak sebagai mikrokontroler yang mengontrol dan mengirimkan data ke LCD I2C melalui jalur SDA (Serial Data) dan SCL (Serial Clock). Pin SDA dan SCL masing-masing berfungsi untuk transmisi data dan sinkronisasi clock antar perangkat I2C. Pada Arduino Uno, SDA berada

di pin A4 dan SCL berada di pin A5. Kedua pin ini menghubungkan Arduino dengan modul I2C. Liquid Crystal Display (LCD) merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menampilkan keterangan atau informasi yang diperintahkan oleh mikrokontroler [5].

2.3.6. Rangkaian Regulator Tegangan



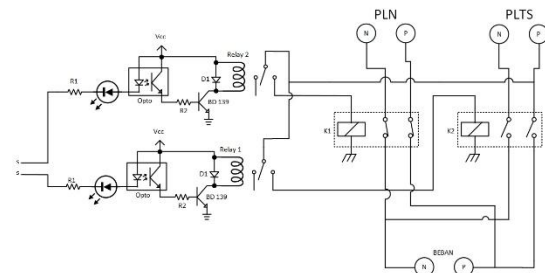
Gambar 7. Rangkaian Regulator Tegangan

Rangkaian regulator tegangan adalah salah satu komponen penting dalam sistem elektronika yang berfungsi untuk memastikan bahwa perangkat mendapatkan suplai tegangan yang stabil dan sesuai dengan spesifikasi operasionalnya. Stabilitas tegangan ini sangat penting agar kinerja rangkaian tetap optimal dan mencegah kerusakan akibat fluktuasi tegangan [6]. Dalam proyek kali ini rangkaian regulator tegangan berfungsi untuk memberikan suplai modul ESP32, relay, sensor pzem dan perangkat lain yang membutuhkan tegangan stabil 5 V. Komponen-komponen yang digunakan dalam rangkaian regulator ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Komponen Regulator Tegangan

Komponen	Nilai/Spesifikasi	Fungsi
R1	2 kΩ	Resistor pull-down untuk bias TIP3055
R2	220 Ω	Resistor untuk mengatur arus LED indikator
C1	100 μF, 25V	Kapasitor filter input
C2	10 μF, 25V	Kapasitor filter output
LM7805	Output: 5V, Arus maksimum: 1A	Regulator tegangan utama
TIP3055	NPN, Tegangan maksimum: 60V	Transistor daya untuk memperbesar arus keluaran
LED	LED standar (2-3V, 20mA)	Indikator

2.3.7. Wiring Kontaktor ke Relay



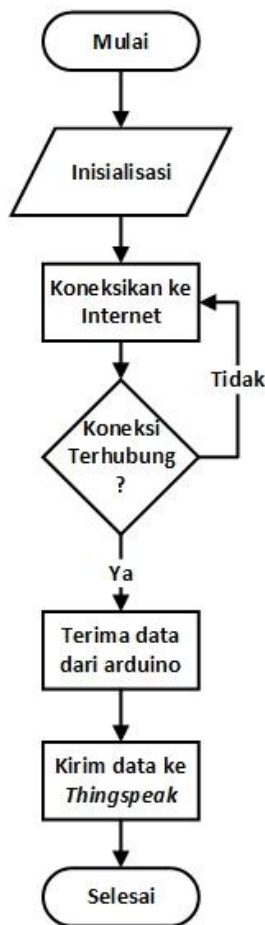
Gambar 8. Wiring Kontaktor

Rangkaian kontaktor dirancang untuk memastikan transisi yang aman serta bekerja secara otomatis antara dua sumber daya listrik, yaitu PLN dan PLTS. Dengan kontrol menggunakan relay dan kontaktor, sistem dapat memilih sumber daya mana yang harus digunakan untuk mengoptimalkan efisiensi energi. Arduino uno berperan penting menghidupkan dan mematikan kontaktor melalui relay untuk memastikan tidak ada konflik antara sumber PLN dan PLTS. Pada saat kontaktor aktif, daya listrik dari sumber yang dipilih akan diteruskan ke beban.

Ada dua jenis kontaktor yang digunakan yaitu kontaktor NO (Normally Open) dan kontaktor NC (Normally Close). Sumber listrik dari PLN dihubungkan ke kontaktor NC, ini bertujuan supaya pada saat sistem error atau mati beban langsung terhubung ke sumber listrik PLN. Sedangkan sumber listrik PLTS dihubungkan ke kontaktor NO supaya pada saat sistem mati listrik dari PLTS tidak terhubung ke beban, ini juga bertujuan menghindari pengguan berlebih dari sumber PLTS karena bisa menyebabkan baterai rusak.

2.4. Flowchart

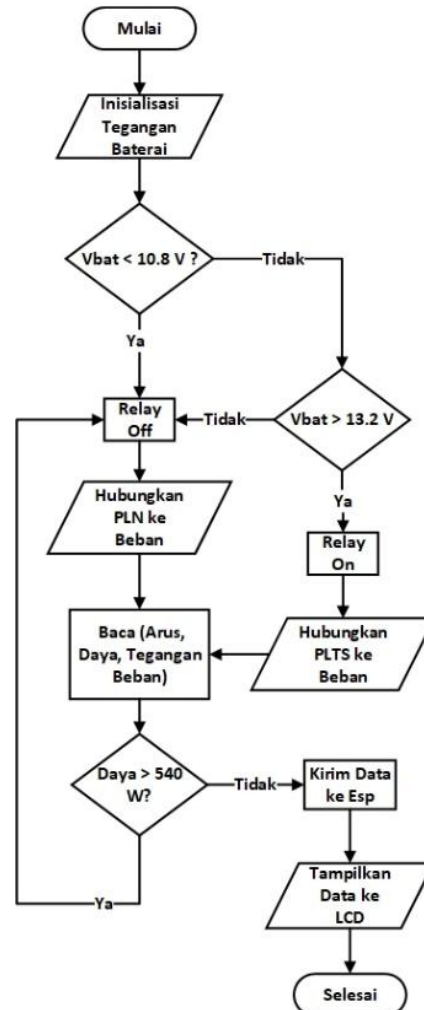
2.4.1. Flowchart ESP32



Gambar 9. Flowchart ESP32

Untuk menampilkan data ke smartphone atau komputer, modul ESP32 dihubungkan ke jaringan internet. Setelah berhasil terhubung, ESP32 mengirimkan data dari Arduino Uno secara real-time ke platform ThingSpeak. Jika koneksi internet terputus, ESP32 akan mencoba menyambung kembali hingga berhasil. Namun, apabila ESP32 tidak menerima data dari Arduino Uno, maka ThingSpeak akan menampilkan data kosong (NaN).

2.4.2. Flowchart Arduino Uno



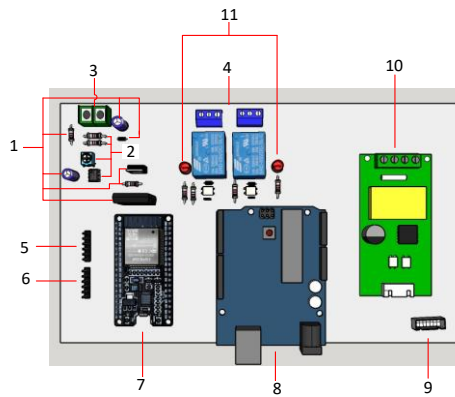
Gambar 10. Flowchart Arduino Uno

Proses diawali dengan inisialisasi pembacaan tegangan baterai (Vbat) oleh mikrokontroler untuk menentukan sumber daya yang akan digunakan. Jika Vbat turun di bawah 10,8 V, sistem akan menonaktifkan relay sehingga suplai listrik dialihkan ke PLN guna menjaga kestabilan daya. Sebaliknya, ketika Vbat melebihi 13,2 V, relay diaktifkan dan suplai kembali menggunakan PLTS sebagai sumber utama. Setelah sumber daya ditentukan, sistem memantau parameter beban seperti tegangan, arus, dan daya. Jika daya beban melebihi 540 W, suplai akan otomatis dialihkan ke PLN untuk mencegah risiko kerusakan pada inverter dan menjaga kestabilan sistem. Namun, jika daya beban ≤ 540 W, suplai tetap dipertahankan dari PLTS. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan ke ESP32 untuk pemantauan jarak jauh melalui ThingSpeak, serta ditampilkan pada LCD agar pengguna dapat memantau kondisi

tegangan, arus, dan daya secara real-time. Proses pemantauan berlangsung secara berkala untuk memastikan suplai listrik tetap stabil dan sesuai batas aman.

2.5. Desain *Hardware*

2.5.1. Desain PCB Kontrol

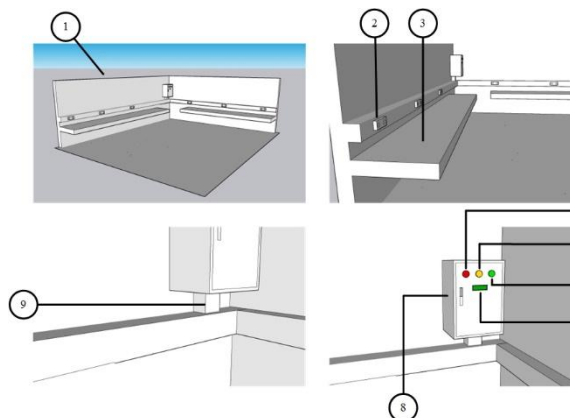


Gambar 11. Desain PCB Kontrol

Keterangan:

- 1.) Komponen Regulator Tegangan
- 2.) Rangkaian Sensor Tegangan
- 3.) Terminal Blok Baterai
- 4.) Terminal Blok Relay
- 5.) Pin 5 volt
- 6.) Pin GND
- 7.) Esp32
- 8.) Arduino Uno
- 9.) Soket LCD
- 10.) Sensor Pzem
- 11.) Indikator Relay

2.5.2. Desain Letak Panel



Gambar 12. Desain letak panel pada ruangan

Keterangan gambar:

- 1.) Tampak desain keseluruhan.

- 2.) Stop kontak sambungan.
- 3.) Meja.
- 4.) Indikator PLN.
- 5.) Indikator listrik
- 6.) Indikator PLTS
- 7.) LCD
- 8.) Kotak Panel
- 9.) Cover penutup stop kontak ke panel.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pembuatan Alat



Gambar 13. Tampak PCB Kontrol

Gambar 13 merupakan *board* pcb kontrol yang menjadi bagian penting dari sistem. *Board* tersebut berfungsi mengintegrasikan beberapa komponen seperti Arduino Uno, ESP32, LCD I2C, rangkaian relay, serta rangkaian regulator yang menjadi supply dari komponen-komponen tersebut. Penggunaan PCB (*Printed Circuit Board*) bertujuan untuk memberikan integrasi yang lebih tinggi serta desain yang lebih ringkas. Penggabungan dari beberapa komponen tersebut berfungsi untuk pengambilan dan menampilkan data secara real-time.



Gambar 14. Tampak Dalam Panel

Gambar 14 merupakan tampak dari sistem utama yang berfungsi memindahkan sumber listrik PLTS ke sumber listrik PLN atau pun sebaliknya yang dipasang sedemikian rupa pada sebuah panel yang telah disiapkan.



Gambar 15. Tampak Depan Panel

Gambar 15 merupakan tampak depan dari panel yang terdiri dari tiga buah lampu indikator yang berwarna merah yang menandakan listrik dari PLN, indikator berwarna hijau menandakan listrik disuplai dari listrik PLTS, dan yang terakhir indikator berwarna kuning yang menandakan adanya arus listrik. Selain itu terdapat LCD 20x4 yang dipasang pada panel untuk memudahkan pengguna melihat data yang terbaca oleh sensor, dari LCD tersebut dapat menampilkan berupa data Tegangan Baterai, Arus Beban, Tegangan listrik beban, Daya Beban, dan Power dari beban.

3.2. Hasil Pengujian

3.2.1. Pengujian Sensor

Tabel 4. Berbandingan data Sensor dan Alat Ukur

No	Parameter	Data Alat ukur	Data Sensor	Errorr (%)
1	Tegangan Baterai (VDC)	13.1 V	13.1 V	0%
2	Arus Beban (A)	0.16 A	0.16 A	0%
3	Tegangan Beban (VAC)	224.9 V	225.0 V	0.0444%
4	Daya Beban (W)	82.0 W	82.1 W	0.122%
		Rata-rata Errorr (%)		0.042%

Tabel diatas menunjukkan hasil dari pembacaan sensor yang sudah melewati langkah kalibrasi untuk menyesuaikan data yang terbaca sensor sama dengan data yang terbaca oleh alat ukur. Dari hasil pengujian terhadap tegangan baterai (VDC), arus beban (A), tegangan beban (VAC) dan daya beban (W) data yang dihasilkan oleh sensor memberikan hasil yang cukup akurat.

3.2.2. Pengujian menampilkan data di LCD dan Thingspeak



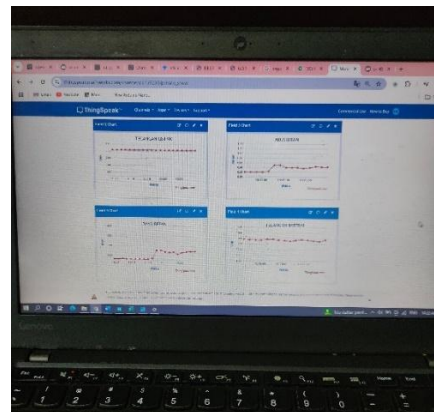
Gambar 16. Tampilan Data di LCD

Pengujian awal dilakukan dengan memberikan beban berupa satu buah laptop dimana dari pengujian tersebut data tegangan baterai, tagangan beban, arus, dan daya dapat ditampilkan di LCD yang ada pada panel.

Tabel 5. Data yang terdapat pada LCD

No	Parameter	Data yang Ditampilkan
1	Tegangan Baterai	12.9 V
2	Tegangan Beban	220 V
3	Arus Beban	0.45 A
4	Daya Beban	71.90 W

Adapun data pengujian juga dapat di tampilkan melalui platform Thingspeak berupa grafik real-time.



Gambar 17. Tampilan data di platform Thingspeak

3.2.3. Pengujian Perpindahan Kontaktor

Pengujian ini dilakukan dengan cara menurunkan tegangan dari *variable power supply* dari tegangan 13.2 V hingga tegangan 10.8 V dan menaikkan tegangan kembali dari 10.8 V hingga tegangan 13.2 V.

Tabel 6. Perpindahan Sumber Listrik

VDC	K1 (NC)	K2 (NO)	Sumber Listrik	Indikator
13.2	On	On	PLTS	Kuning-Hijau
12.8	On	On	PLTS	Kuning-Hijau
12.4	On	On	PLTS	Kuning-Hijau
12	On	On	PLTS	Kuning-Hijau
11.6	On	On	PLTS	Kuning-Hijau
11.2	On	On	PLTS	Kuning-Hijau
10.8	Off	Off	PLN	Merah-Kuning
11.2	Off	Off	PLN	Merah-Kuning
11.6	Off	Off	PLN	Merah-Kuning
12	Off	Off	PLN	Merah-Kuning
12.4	Off	Off	PLN	Merah-Kuning
12.8	Off	Off	PLN	Merah-Kuning
13.2	On	On	PLTS	Kuning-Hijau

Ket:

Indikator Merah = Sumber listrik dari PLN

Indikator Kuning = Terdapat sumber listrik yang mengalir

Indikator Hijau = Sumber listrik dari PLTS

Tabel 6 menunjukkan respon dari kontaktor NO (*Normally Open*) dan NC (*Normally Closed*) pada saat sensor tegangan mendeteksi adanya perubahan pada nilai tegangan. Pada saat tegangan 13.2 V maka kedua buah kontaktor aktif, dimana akan menghubungkan listrik PLTS dan memutus listrik PLN ke beban dan indikator kuning-hijau aktif. Pada saat tegangan mencapai nilai 10.8 V dimana tegangan tersebut di atur sebagai tegangan minimum pada perhitungan sebelumnya, maka kedua buah kontaktor akan off yang dimana akan memutus listrik dari PLTS dan menghubungkan listrik PLN ke beban maka indikator kuning-merah aktif. Adapun tampilan

indikator pada saat PLN aktif dapat dilihat pada gambar berikut.

```
//Kontrol Relay
if (Vbat <= TegMin || power >= DayaMax) {
  if (!StatusRelay) {
    digitalWrite(relay1Pin, HIGH); // Matikan relay 1
    delay(1000);
    digitalWrite(relay2Pin, HIGH); // Matikan relay 2
    StatusRelay = true;
    mulai_reset();
  }
} else if (Vbat >= TegMax) {
  if (StatusRelay) {
    digitalWrite(relay2Pin, LOW); // Nyalakan relay 2
    delay(1000);
    digitalWrite(relay1Pin, LOW); // Nyalakan relay 1
    StatusRelay = false;
  }
}
```

Gambar 18. Program Perpindahan Kontaktor

Perpindahan dari kedua buah sumber tersebut terjadi selama kurang lebih 1 detik, pernyataan ini didasari pada pembuatan pemograman arduino dimana lama perpindahan dari kontaktor sudah di set ke 1000 mili second atau 1 detik.

3.2.3. Pengujian Daya

Tabel 7. Pengujian Daya

Percobaan ke-	Beban	jumlah	VD C	VAC	A	W
1	Laptop	1	13.2	223.77	0.15	21.7
2	Laptop	3	13.3	225.6	0.38	62
3	Laptop	4	13.3	222.3	0.5	81.9
4	Laptop	5	13.2	207.1	1.12	197.5
5	Smartphone	1				
6	Solder uap/Blower	1	13.2	145	2.2	310.6

Pengujian dilakukan dengan menambah beban secara bertahap untuk mengetahui kapasitas suplai PLTS. Beban awal satu laptop menghasilkan daya 21,7 W; tiga laptop 62 W; empat laptop 81,9 W; dan lima laptop ditambah satu handphone mencapai 197,5 W, yang mulai memengaruhi tegangan baterai dan tegangan beban. Saat ditambahkan blower atau solder uap, daya melonjak menjadi 310,6 W, tetapi terjadi penurunan signifikan pada tegangan beban sehingga suplai listrik menjadi tidak stabil. Gangguan ini disebabkan oleh keterbatasan inverter, arus baterai kecil, kualitas kabel kurang baik, serta kondisi baterai yang menurun. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa daya maksimal PLTS hanya di bawah 300 W, sehingga tidak dapat menopang perangkat berdaya besar, dan dalam kondisi baterai saat ini

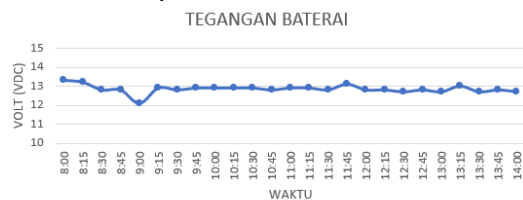
hanya mampu mendukung sekitar enam hingga tujuh unit laptop secara bersamaan.

2.2.4. Hasil Pengujian Beban di Ruang Laboratorium Robotika

A. Pengujian Hari Pertama

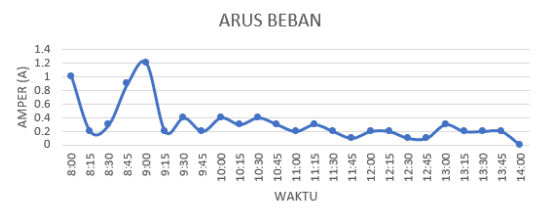
Pengujian dilakukan dari pukul 08.00 hingga 14.00, menunjukkan tegangan baterai yang relatif stabil dengan kisaran 12,1 V hingga 13,3 V. Penurunan tegangan sekitar pukul 09.00 terjadi akibat meningkatnya daya beban hingga 203 W serta rendahnya intensitas sinar matahari.

Daya beban selama pengujian bervariasi antara 24 W hingga 203 W, dan pada pukul 14.00 tidak terdeteksi arus maupun daya beban, menandakan berakhirnya aktivitas di laboratorium. Grafik hasil pengujian ditampilkan untuk memvisualisasikan perubahan tegangan baterai, tegangan beban, arus beban, dan daya beban selama periode tersebut.



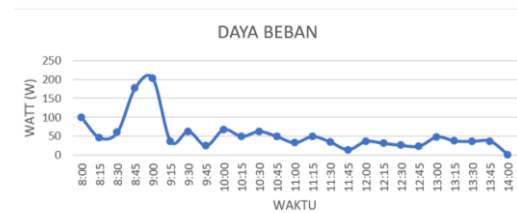
Gambar 19. Grafik Tegangan Baterai Hari pertama

Dari gambar grafik diatas tegangan baterai terlihat ada penurunan pada pukul 8.50 hingga pukul 9.00 pernyataan ini telah disampaikan sebelumnya dimana ini terjadi karena daya beban yang tinggi atau kurangnya sinar matahari. Namun tegangan kembali normal pada pukul 9.15 hingga pengujian berakhir.



Gambar 20. Grafik Arus hari pertama

Arus beban mengalami puncak tertinggi sekitar pukul 9:00-9:15 dengan nilai kurang lebih 1.2 A, kemudian menurun dan stabil pada kisaran 0.2-0.5 A hingga akhir pengujian. Lonjakan arus beban pada awal pengujian ini umumnya disebabkan oleh proses inisialisasi sistem dan banyaknya perangkat yang di hubungkan bersamaan ke sumber listrik.



Gambar 21. Grafik Daya Penggunaan hari pertama

Grafik menunjukkan adanya peningkatan konsumsi daya beban yang dimulai sekitar pukul 08.30, kemudian mencapai puncak tertinggi sekitar pukul 09.00 dengan daya mendekati 230 W. Setelah mencapai puncak, terjadi penurunan yang cukup tajam sekitar pukul 09.15 hingga daya turun ke kisaran 40–48 W.

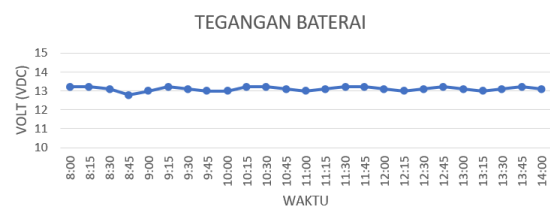


Gambar 22. Grafik Tegangan Beban hari pertama

Gambar 16 memperlihatkan grafik tegangan listrik PLTS terjadi penurunan namun kondisi ini masih dalam dikategorikan stabil karena tegangan beban tidak kurang dari 220 V.

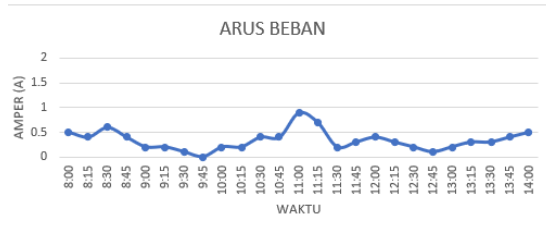
B. Pengujian Hari ke Dua

Berdasarkan data pada tabel 9. di atas, diperoleh grafik yang menunjukkan parameter tegangan baterai, arus beban, daya beban, dan tegangan beban. grafik tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini.



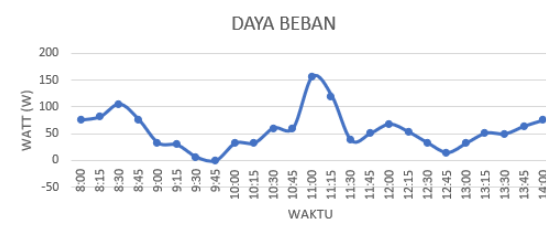
Gambar 23. Grafik Tegangan Baterai Hari ke dua

Grafik tegangan baterai menunjukkan kestabilan di kisaran 13,0–13,2 V selama pengujian dari pukul 8:00 hingga 14:00. Stabilitas ini didukung oleh kondisi cuaca cerah, sehingga energi dari panel surya mampu mencukupi kebutuhan daya dan menjaga performa baterai tetap optimal tanpa penurunan signifikan.



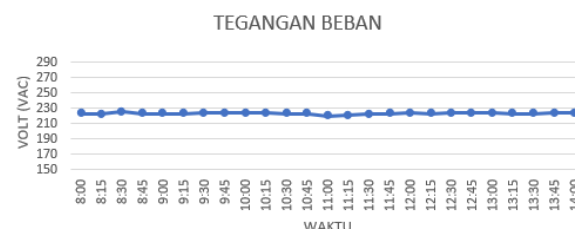
Gambar 24. Grafik Arus Beban Hari ke dua

Grafik arus beban menunjukkan fluktuasi antara 0 hingga sekitar 0,9 A, dengan puncak arus 0,9 A pada pukul 11:00 dan titik terendah 0 A pada pukul 9:45 akibat tidak adanya konsumsi daya saat jam istirahat. Secara keseluruhan, variasi arus ini sejalan dengan perubahan daya beban selama pengujian.



Gambar 25. Grafik Daya Beban Hari ke dua

Grafik daya beban memperlihatkan variasi konsumsi daya selama pengujian dengan kisaran 0 W hingga 156 W. Konsumsi daya tertinggi tercatat pada pukul 11:00 sebesar 156 W, sedangkan daya terendah sebesar 0 W terjadi pada pukul 9:45 akibat tidak adanya penggunaan beban listrik saat itu. Secara keseluruhan, daya beban selama pengujian tetap berada di bawah batas maksimal daya yang telah ditentukan sehingga menunjukkan sistem berjalan dalam kondisi aman.



Gambar 26. Grafik Tegangan Beban Hari ke Dua

Grafik tegangan beban menunjukkan nilai yang relatif stabil di kisaran 222–224 V selama pengujian. Tegangan tertinggi tercatat 223,7 V pada pukul 8:00, kemudian sedikit menurun pada

pukul 11:00 akibat peningkatan konsumsi daya beban, namun penurunan ini masih dalam batas wajar sehingga tegangan tetap stabil hingga akhir pengujian.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol otomatis PLTS dan PLN berbasis IoT berhasil dirancang dan diterapkan di Laboratorium Robotika, mampu memanfaatkan energi terbarukan dari PLTS serta secara otomatis beralih ke PLN ketika tegangan baterai tidak mencukupi. Sistem monitoring melalui ThingSpeak dan LCD bekerja baik dalam menampilkan data tegangan, daya, dan arus secara real-time, sehingga mempermudah pengawasan dan analisis. Hasil pengujian sensor menunjukkan tingkat akurasi yang memadai, mendukung keandalan sistem kontrol, sedangkan perpindahan sumber listrik dapat diatur melalui pemrograman sesuai kebutuhan. Dari pengujian beban, rata-rata tegangan baterai hari pertama tercatat 12,95 V dengan daya beban rata-rata 58,05 W, sedangkan pada hari kedua rata-rata tegangan meningkat menjadi 13,09 V dengan daya beban rata-rata 62,43 W, yang menunjukkan kinerja sistem cukup stabil meskipun terjadi variasi beban. Namun demikian, ditemukan adanya penurunan atau drop tegangan yang signifikan ketika beban melebihi kapasitas suplai PLTS, yang menunjukkan perlunya peningkatan pada kapasitas baterai, efisiensi inverter, dan kualitas instalasi. Sebagai saran pengembangan, sistem ini dapat ditingkatkan dengan penggunaan baterai berkapasitas lebih besar, pemilihan inverter yang lebih efisien dan berdaya lebih tinggi, penambahan proteksi untuk mencegah kerusakan akibat lonjakan daya, serta penggunaan modul RTC agar sistem dapat dijadwalkan bekerja secara otomatis dan lebih efisien.

5. Referensi

- [1] D. Silalahi, "Solar PV Resource Assessment for Indonesia's Energy Future," Solar Energy, 2021.
- [2] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian ESDM, "Tujuh Strategi Pemerintah dalam Pengembangan Ketenagalistrikan," ESDM, Nov. 2020.
- [3] B. Risky, A. Syakur, dan Y. A. A. Soetrisno, "Perancangan Prototipe Alat Ukur Tegangan Ujung Feeder Menggunakan Metode Pembagi Tegangan," TRANSIENT, vol. 10, no. 1, Maret 2021.

- [4] M. A. S. Antara dan I. W. A. Suteja, “Analisis arus, tegangan, daya, energi, dan biaya pada sensor PZEM-004T berbasis NodeMCU ESP8266,” **Patria Artha Technological Journal**, vol. 5, no. 1, Apr. 2021.
- [5] H. Suryantoro dan A. Budiyanto, “Prototype Sistem Monitoring Level Air Berbasis LabVIEW & Arduino sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali,” *Indonesian Journal of Laboratory*, vol. 1, no. 3, hal. 20–32, 2019.
- [6] N. Ulfa, J. Julaipah, dan A. F. A. Anggoro, “Pengaruh nilai tegangan masukan terhadap regulasi tegangan pada IC L7805 sebagai positive voltage regulator,” **Media Elekrika (TRANSIENT)**, vol. 11, no. 1, Maret 2021.