RANCANG BANGUN SISTEM HYBRID PADA PLTS DAN PLN BERBASIS PLC DAN HMI

Dica Prayoga[1*], Hendro Priyatman[2], F. Trias Pontia W [3]
[1,2,3] Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura Pontianak
[1]dicaprayoga21@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini merancang dan membangun sistem Hybrid PLTS dan PLN berbasis PLC dan HMI untuk digunakan pada beban prioritas dengan sumber utama dari PLTS dan sumber cadangan dari PLN. Sistem dikendalikan menggunakan PLC Lollette LE3U dan dimonitor melalui HMI Haiwell C7S secara real-time. Pengukuran parameter listrik dilakukan menggunakan sensor PZEM-016 pada sisi AC dan PZEM-017 pada sisi DC, kemudian data ditampilkan pada HMI sebagai data logger. Pengalihan sumber energi dilakukan secara otomatis berdasarkan tegangan baterai dan prioritas beban, dengan batas perpindahan pada kondisi tegangan baterai 12 V, 11 V, dan 10 V. Pengujian dilakukan selama 30 hari dan menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam memantau tegangan, arus, dan daya, serta melakukan perpindahan sumber secara otomatis. Hasil pengujian juga menunjukkan sensor memiliki akurasi yang baik, dengan rata-rata galat tegangan PZEM-016 pada Beban 1 sebesar 0,26% dan Beban 2 sebesar 0,19%. Selain itu, penggunaan sistem Hybrid memberikan selisih konsumsi energi harian sebesar 52% dibandingkan penggunaan PLN selama 24 jam, dengan selisih energi terbayar sebesar 612,2 Wh.

Kata kunci: Sistem Hybrid, PLTS, PLN, PLC, HMI, *Monitoring*.

Abstract

This study designs and builds a Hybrid PV-utility power system based on PLC and HMI for priority loads, using PLTS as the main source and PLN as the backup source. The system is controlled by a Lollette LE3U PLC and monitored in real time through a Haiwell C7S HMI. Electrical parameters are measured using PZEM-016 sensors on the AC side and PZEM-017 sensors on the DC side, and the data are displayed on the HMI as a data logger. Source transfer is performed automatically based on battery voltage and load priority, with transfer thresholds set at 12 V, 11 V, and 10 V. The system was tested for 30 days and showed good performance in monitoring voltage, current, and power, as well as in automatic source switching. The results also indicate good sensor accuracy, with average voltage error of the PZEM-016 sensor of 0.26% for Load 1 and 0.19% for Load 2. In addition, the Hybrid system reduced daily energy consumption by 52% compared with 24-hour PLN usage, with an energy difference of 612.2 Wh.

***Keywords**: Hybrid System, PV, Utility Power, PLC, HMI, Monitoring*

Article History
Received: June 2026
Reviewed: June 2026
Published: July 2026

Plagiarism Checker No.: 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

1. PENDAHULUAN

Konsumsi listrik Indonesia terus meningkat setiap tahunnya, seiring dengan pertumbuhan ekonomi nasional. Peningkatan kebutuhan listrik diperkirakan akan meningkat rata-rata 6,5% per tahun hingga tahun 2020 (Muchlis & Permana, 2003). Konsumsi listrik Indonesia yang tinggi akan menjadi masalah jika pasokan tidak sesuai dengan permintaan. Kebijakan yang ditempuh PLN (Perusahaan Listrik Negara) sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) penyedia tenaga listrik semakin menunjukkan bahwa PLN sudah tidak mampu lagi memenuhi kebutuhan listrik nasional. Jika masalah pasokan listrik tidak segera diselesaikan, maka sistem perekonomian Indonesia akan terganggu.[1]

Upaya untuk mengatasi masalah-masalah di atas telah dilaksanakan oleh pemerintah dan peneliti. Salah satunya adalah menemukan energi alternatif. Dalam penelitian ini, sumber energi alternatif adalah sinar matahari. Pemilihan sumber energi alternatif sangat masuk akal dengan pasokan matahari matahari disambut oleh tanah Bumi 3 x 102 joule per tahun (Asy'ari, Jatmiko and Angga, 2012). Jumlah energi setara dengan konsumsi energi 10.000 kali di dunia saat ini (Asy'ari, Jatmiko and Angga, 2012). Di Indonesia, melimpahnya energi matahari bahkan dan dapat ditangkap di seluruh kepulauan Indonesia, hampir sepanjang tahun menjadi sumber energi daya potensial.[1]

Penelitian yang dilakukan oleh (Kanata, 2015) yang membuat Kajian Pembangkit *Hybrid Renewble* Energi Menuju Desa Mandiri Energi Di Kabupaten Bone-Bolango menghasilkan 4 macam permodelan pembangkit *Hybrid* berbasis energi terbarukan yaitu konfigurasi sistem *Hybrid* surya-biomassa,konfigurasi sistem *Hybrid* surya-biomassa-mikrohidro, konfigurasi sistem *Hybrid* biomassa mikrohidro dan konfigurasi sistem *Hybrid* surya-mikrohidro. [2]

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui. Salah satu energi terbarukan yang digunakan adalah energi matahari karena merupakan solusi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan kehidupan manusia. Sifat dari energi matahari bisa dibilang kekal karena tidak akan habis dan pemanfaatannya lebih mudah dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lain. Pemanfaatan dari sumber energi terbarukan harus dikembangkan karena peran dan harga dari energi fosil sendiri selalu meningkat dan melambung tajam sebagai penyedia sumber energi yang terus menerus selalu digunakan dari PLN. [3]

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem pembangkit tenaga *Hybrid* PLTS dan PLN, yang mana sumber PLN sebagai cadangan dan sumber PLTS sebagai sumber utama.

2. KERANGKA TEORITIS

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah suatu teknologi pembangkit yang akan mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada PV modul yang terdiri dari sel surya, sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari silicon (Si) murni dan bahan semi kondukator lainnya . Apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. PLTS secara garis besar diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, di antaranya: sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (off-grid PV plant), atau yang lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (*stand alone*) dan sistem PLTS terhubung dengan jaringan (on-grid PV plant) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS *grid connected* [7], [8].

Sinar matahari yang dimanfaatkan oleh PLTS ini akan memproduksi listrik DC yang dapat dikonversi menjadi listrik AC apabila dibutuhkan. Dan PLTS ini akan tetap menghasilkan listrik meskipun cuaca mendung selama masih terdapat cahaya (Tjok Gd. Visnu Semara Putra, 2015) [3].

(a) *Off-Grid PV Plant* (b) *On-Grid PV Plant*

Gambar 2.1 Konfigurasi Sistem PLTS

2.2 Sistem *Hybrid*

Pembangkit listrik tenaga *Hybrid* merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda [9]. Pada umumnya digunakan untuk isolated grid sehingga didapatkan keuntungan teknis dan ekonomis. Isolate grid merupakan sistem jaringan listrik yang beroperasi secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik utama [5].

2.2 Tegangan

Tegangan listrik merupakan ukuran perbedaan potensial listrik yang bekerja pada suatu elemen atau komponen yang memiliki dua titik dengan perbedaan muatan listrik.. Besarnya tegangan biasanya dinyatakan dalam satuan volt (V). Untuk mengukur tegangan, biasanya digunakan alat seperti multimeter ataupun voltmeter.

2.3 Arus

Arus listrik adalah aliran partikel bermuatan (elektron) yang bergerak melalui suatu penghantar dalam rangkaian listrik, yang terjadi ketika ada perbedaan potensial atau tegangan. Besarnya aliran ini diukur dalam satuan ampere (A), dan ada dua jenis arus utama: arus searah (DC) yang mengalir dalam satu arah, serta arus bolak-balik (AC) yang arahnya berubah-ubah secara berkala, seperti pada listrik rumah tangga.

Arus listrik akan mengalir jika terdapat perbedaan potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian. Berdasarkan Hukum Ohm, besar arus listrik berbanding lurus dengan tegangan (V) dan berbanding terbalik dengan hambatan (R) pada suatu penghantar. Hubungan antara ketiga besaran ini dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$I = \frac{V}{R} \qquad (2.1)$$

Dengan:
I : Arus Listrik Ampere (A)
V : Tegangan Listrik Volt (V)
R : Hambatan Listrik Ohm (Ω)

2.4 Daya Listrik

Daya listrik adalah ukuran energi listrik yang diukur dalam satuan waktu atau laju di mana energi listrik digunakan oleh suatu alat atau jaringan listrik. Daya ini menunjukkan seberapa banyak energi yang diubah menjadi kerja dalam interval waktu tertentu dan diukur dengan satuan Watt (W) atau Volt-Ampere (VA) untuk daya semu.. Daya listrik dapat dituliskan menggunakan persamaan (2.2)[9]:

$$P = V \times I \quad (2.2)$$

Dengan:

P : Daya Listrik Watt (W)
V : Tegangan Listrik Volt (V)
I : Arus Listrik Ampere (A)

2.5 Energi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan dari aliran elektron melalui suatu penghantar merupakan salah satu bentuk energi yang sangat penting dan menjadi kebutuhan utama dalam pengoperasian peralatan elektronik, rumah tangga, maupun industri. Besarnya energi listrik dapat dihitung menggunakan persamaan[10]:

$$E = P \times t \quad (2.3)$$

Dengan:

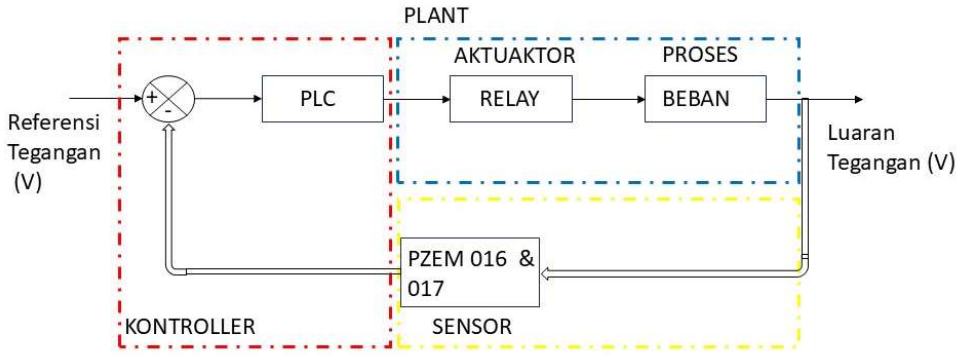
P : Daya Listrik Watt (W)
E : Energi Listrik (Wh)
t : Waktu hour (h)

3 METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian dan pengembangan (R&D). Metode penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengembangkan proses teknologi baru. Pada metode ini, proses penelitian dan pengembangan dilakukan melalui serangkaian tahapan yang mencakup studi literatur, perancangan sistem, pengujian dan pengambilan data.

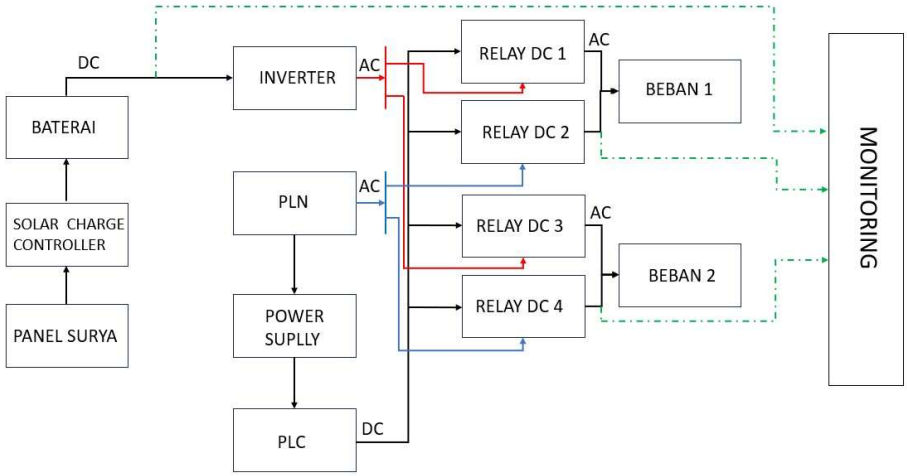
3.1 Perancangan Sistem

Penelitian yang akan dilakukan adalah merancang sebuah sistem *Hybrid* dilakukan untuk menggambarkan alur kerja dari keseluruhan rangkaian dan fungsi monitoring yang digunakan dalam penelitian. Sistem ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu sistem pengendali dan distribusi daya, serta sistem monitoring parameter listrik. Perancangan disusun agar mampu menangani pengalihan sumber daya secara otomatis serta menampilkan data monitoring secara *real-time* melalui HMI.



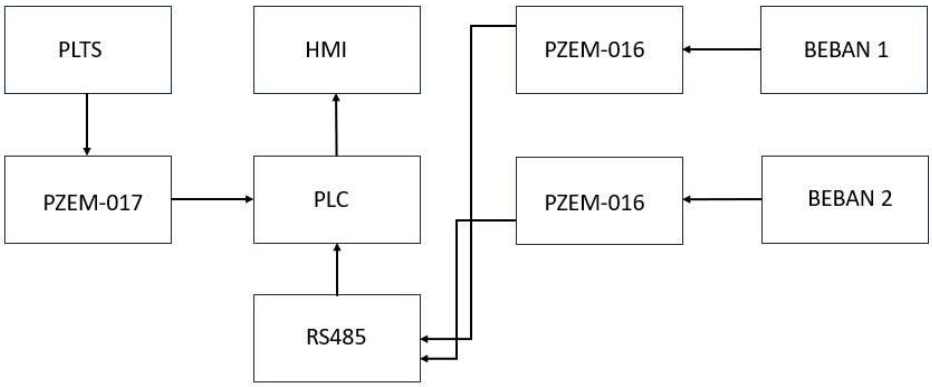
Gambar 3.1 Diagram Blok Kontrol

Gambar 3.2 menyajikan diagram alir keseluruhan sistem, yang memperlihatkan hubungan antar komponen utama, mulai dari panel surya, baterai, inverter, hingga sistem monitoring dan pembagian beban.



Gambar 3.2 Diagram Skematik Keseluruhan Sistem

Gambar 3.3, yang menjelaskan hubungan antara sumber daya, sensor, PLC, HMI, dan beban. Diagram ini menjadi dasar dalam implementasi sistem monitoring terintegrasi yang digunakan dalam penelitian.

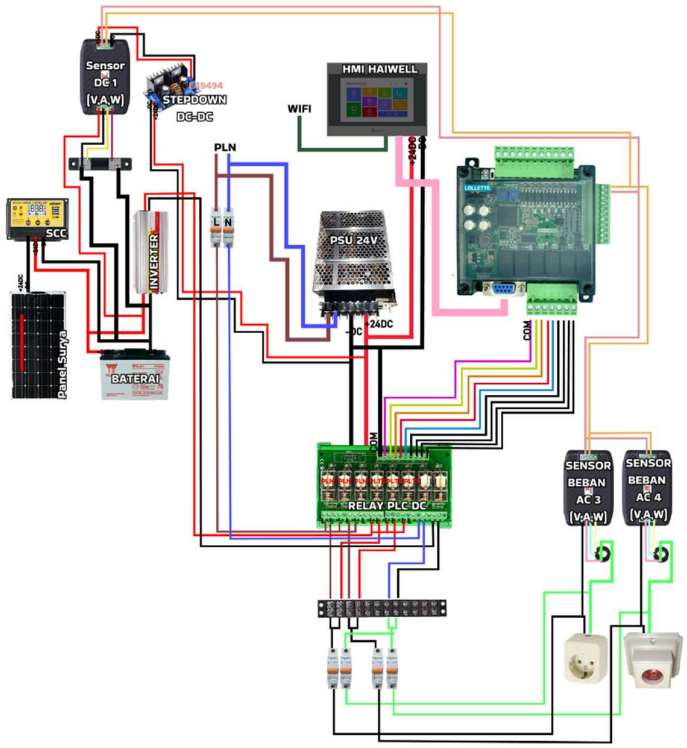


Gambar 3.3 Diagram Skematik Monitoring

Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 menunjukkan dua bagian utama dalam sistem yang dirancang, yaitu alur distribusi daya dan sistem monitoring. Gambar 3.7 menggambarkan diagram alir keseluruhan sistem, yang mencakup proses pengalihan sumber daya dari PLTS dan PLN melalui relay otomatis, pembagian beban berdasarkan prioritas, serta suplai daya untuk perangkat kontrol. Sementara itu, Gambar 3.8 menjelaskan alur sistem monitoring, mulai dari pembacaan parameter listrik oleh sensor PZEM-016 dan PZEM-017, pengolahan data oleh PLC, hingga tampilan informasi secara *real-time* pada HMI. Kedua diagram ini saling terintegrasi untuk memastikan kontrol dan pemantauan sistem berjalan otomatis, akurat, dan efisien.

3.2 Perancangan Perangkat Keras

Berikut merupakan perancangan sistem perangkat keras sistem *Hybrid* dengan sumber cadangan energi surya untuk beban prioritas berbasis PLC dan HMI.



Gambar 3. 4 Perancangan Sistem Perangkat Keras

Perancangan sistem dimulai dengan sumber tegangan AC 220V dari PLTS yang akan digunakan untuk menyuplai sistem secara keseluruhan. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan beberapa variasi sumber daya, yaitu baterai dengan tegangan output 10V dan 12V, sumber daya dari PLTS (inverter), serta sumber PLN 220V. Sumber baterai digunakan untuk memindahkan sumber PLTS ke PLN ke beban 1, dan beban 2 dengan ketentuan tegangan baterai dibawah 12 V dan Daya yang paling besar disetiap beban.

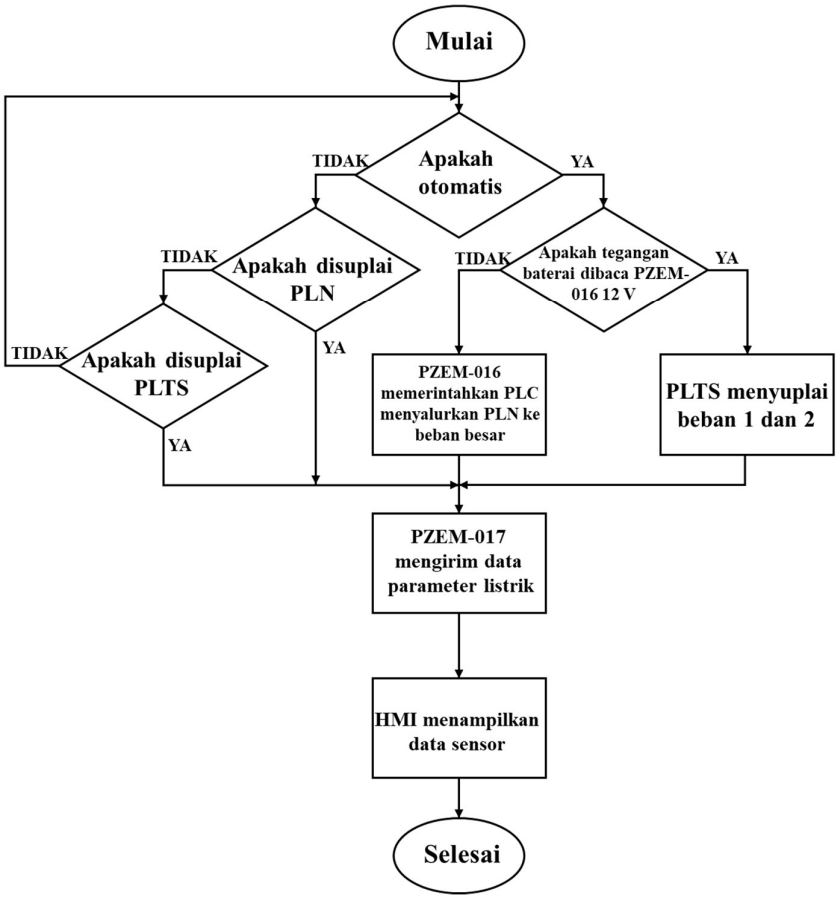
Untuk sistem kontrol, digunakan sebuah *power supply* 24V yang berfungsi mengubah tegangan AC 220V menjadi DC 24V. Tegangan DC ini digunakan untuk menyuplai komponen kendali seperti PLC, relay PLC DC, HMI, serta *step-down converter* yang nantinya digunakan untuk menyalakan sensor PZEM-017 (pengukuran sisi DC).

Perlu diperhatikan bahwa sumber AC yang masuk ke *power supply* berbeda jalur dengan sumber AC yang digunakan untuk menghidupkan beban. Jalur AC ke *power supply* tidak melalui MCB, sedangkan jalur AC ke beban dilindungi oleh MCB untuk pengamanan sistem. Untuk pengukuran parameter kelistrikan pada sisi AC, digunakan sensor PZEM-016 yang menerima input langsung dari jalur sumber AC.

Terakhir, HMI akan menyala secara otomatis saat *power supply* aktif, dan akan menampilkan informasi sistem dalam bentuk monitoring visual dan pencatatan data melalui fitur *data logger*.

3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak bantuan yang digunakan adalah GX Work 2 dan Haiwell Cloud SCADA. Untuk menjelaskan proses kerja sistem secara lebih terstruktur, digunakan flowchart sebagai representasi logika alur sistem. Flowchart ini berfungsi untuk menggambarkan langkah-langkah operasi otomatis, mulai dari pendeteksian kondisi sumber daya, pengambilan keputusan oleh PLC, hingga pengendalian beban berdasarkan prioritas. Dengan menggunakan diagram alir ini, alur kontrol sistem dapat lebih mudah dipahami dan divisualisasikan secara menyeluruh.



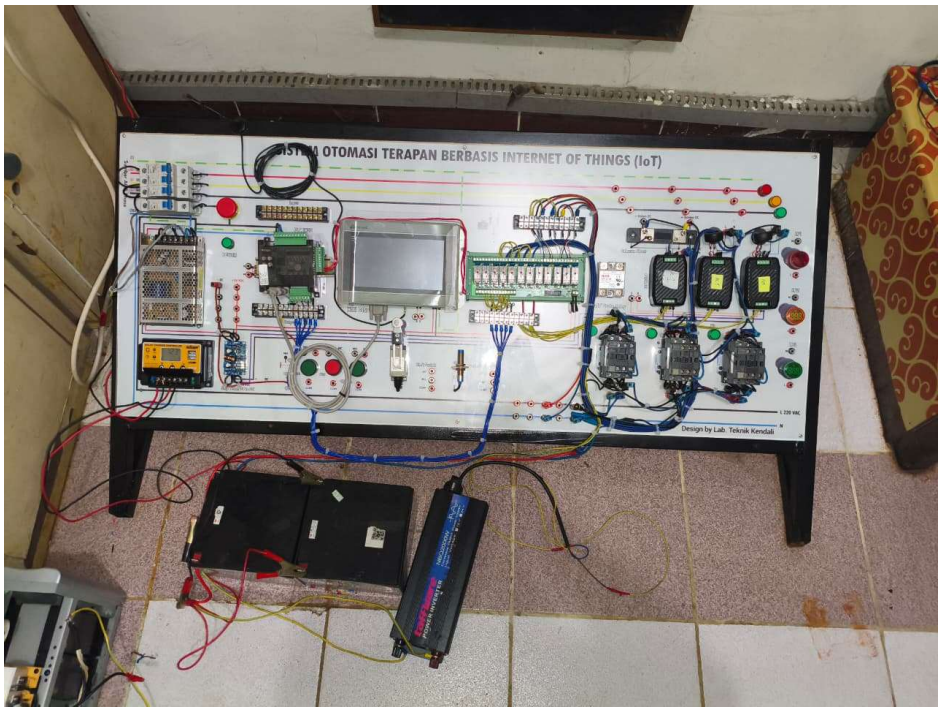
Gambar 3.5 Perancangan Perangkat Lunak Sistem

Gambar 3.5 memperlihatkan logika kerja sistem yang dimulai dari pembacaan status sumber daya oleh PLC, kemudian dilanjutkan dengan pemrosesan logika prioritas beban. Jika tegangan baterai 12 V, maka seluruh akan disupply PLTS. Namun, apabila tegangan baterai di bawah 12 V maka diantar beban 1 dan beban 2 yang mana daya paling besar akan disuplai PLN.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancangan Perangkat Keras

Perakitan perangkat keras dilakukan berdasarkan Gambar 3.4 dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.1

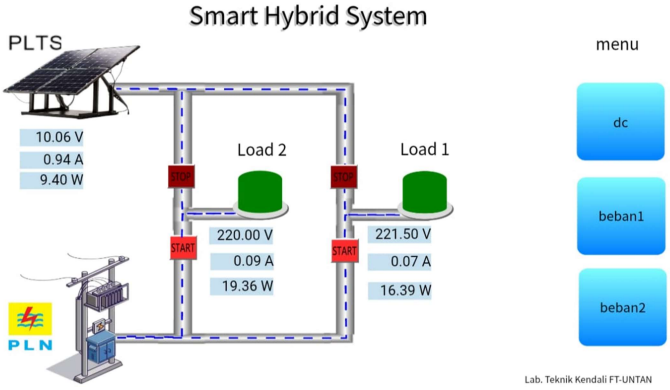


Gambar 4.1 Hasil Rancangan Perangkat Keras Sistem

4.2 Hasil Rancangan Perangkat Lunak

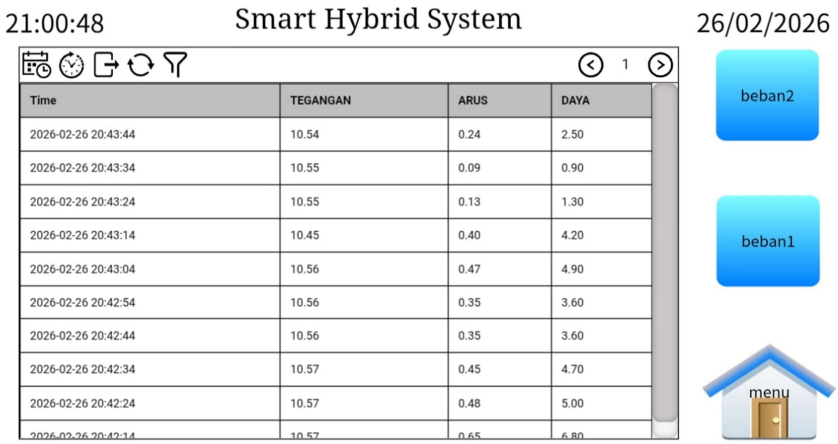
4.2.1 Tampilan HMI

Perancangan perangkat lunak ditujukan untuk mengembangkan program yang akan dijalankan pada HMI, sekaligus merancang antarmuka grafis pengguna (GUI). Pembuatan GUI tidak hanya bertujuan untuk menambah estetika tampilan sistem, tetapi juga untuk memudahkan pengguna dalam mengoperasikan sistem, sehingga meningkatkan kenyamanan dalam penggunaan. Antarmuka yang telah dirancang ini akan ditampilkan di layar HMI saat program mulai dijalankan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2 Terdapat lima tombol yang ketika ditekan akan menuju ke tampilan atau halaman tersebut.



Gambar 4.2 Tampilan HMI

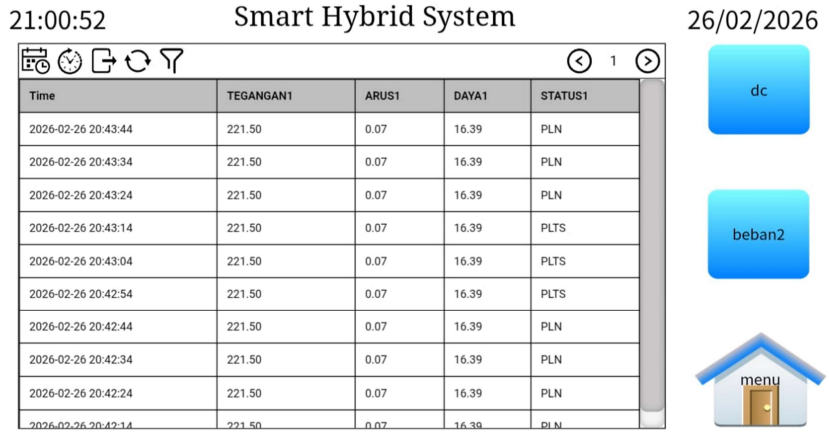
Pada saat menekan tombol dc maka akan masuk ke tampilan halaman dc seperti pada Gambar 4.3, Pada halaman ini terdapat informasi berupa tampilan tegangan, arus, daya, tabel data logger dan tiga tombol yang ketika ditekan akan menuju ke tampilan atau halaman tersebut.



Time	TEGANGAN	ARUS	DAYA
2026-02-26 20:43:44	10.54	0.24	2.50
2026-02-26 20:43:34	10.55	0.09	0.90
2026-02-26 20:43:24	10.55	0.13	1.30
2026-02-26 20:43:14	10.45	0.40	4.20
2026-02-26 20:43:04	10.56	0.47	4.90
2026-02-26 20:42:54	10.56	0.35	3.60
2026-02-26 20:42:44	10.56	0.35	3.60
2026-02-26 20:42:34	10.57	0.45	4.70
2026-02-26 20:42:24	10.57	0.48	5.00

Gambar 4.3 Tampilan HMI pada Menu Data Logger DC

Pada saat menekan tombol beban 1 maka akan masuk ke tampilan halaman Beban 1 seperti pada Gambar 4.4, Pada halaman ini terdapat informasi berupa tampilan tegangan, arus, daya, tabel data logger dan lima tombol yang Ketika ditekan akan menuju ke tampilan atau halaman tersebut.



Time	TEGANGAN1	ARUS1	DAYA1	STATUS1
2026-02-26 20:43:44	221.50	0.07	16.39	PLN
2026-02-26 20:43:34	221.50	0.07	16.39	PLN
2026-02-26 20:43:24	221.50	0.07	16.39	PLN
2026-02-26 20:43:14	221.50	0.07	16.39	PLTS
2026-02-26 20:43:04	221.50	0.07	16.39	PLTS
2026-02-26 20:42:54	221.50	0.07	16.39	PLTS
2026-02-26 20:42:44	221.50	0.07	16.39	PLN
2026-02-26 20:42:34	221.50	0.07	16.39	PLN
2026-02-26 20:42:24	221.50	0.07	16.39	PLN

Gambar 4. 4 Tampilan HMI pada Menu Data Logger Beban 1

4.3 Hasil Pengukuran Sensor

Hasil pembacaan dari seluruh sensor yang terpasang pada sistem *Hybrid* PLTS dan PLN selama 30 hari pengujian. Pengujian ini dilakukan untuk melihat bagaimana sistem bekerja secara menyeluruh dalam kondisi lingkungan yang nyata. Data diambil setiap hari meliputi beberapa parameter seperti tegangan, arus dan daya pada baterai, sumber PLN dan PLTS.

4.3.1 Hasil Pembacaan Sensor PZEM-017 pada Tampilan Data Logger DC

Bagian ini membahas kinerja baterai sebagai sumber energi utama pada sistem PLTS serta efektivitas sensor PZEM-017 dalam memantau parameter DC secara real time. Pada Tabel 4.2 hasil pengukuran parameter baterai menggunakan sensor PZEM-017 yang terintegrasi dengan

data logger pada HMI. Pada pengujian ini sensor membaca nilai tegangan (V), arus (I) dan daya aktif (W) secara berskala.

Sebagai contoh, pada pengambilan data tanggal 30/03/2026, tercatat nilai sebagai berikut:

- Tegangan (V): 12,3 V
- Arus (A): 3,34 A
- Daya (W): 40,5 W

Jika dilakukan validasi menggunakan hukum daya $\mathrm{P} = \mathrm{V} \times \mathrm{I}$,maka :

$$\mathrm{P} = 12{,}13\ \mathrm{V} \times 3{,}34\ \mathrm{A} = 40{,}51\ \mathrm{Watt}$$

Hasil perhitungan manual menunjukkan tidak jauh berbeda, nilai perhitungan 40,51 watt sedangkan pembacaan sensor PZEM-017 40,5 watt dengan nilai yang terbaca pada data logger HMI. Hal ini membuktikan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik untuk dimplementasikan dalam sistem monitoring.

Tabel 4.1 Pembacaan sensor PZEM-017 pada tampilan *Data Logger DC*

Hari Ke-	Tanggal	Rentang Waktu	Baterai		
			Tegangan(V)	Arus(A)	Daya(W)
1	25/02/2026	07:43:21-21:04:51	12,02-10,50	1-0,06	1,2-0,8
		21:05:01-07:46:51	10,50-11,51	0,06-1,6	0,8-1,8
2	26/02/2026	07:46:51-20:24:11	11,51-10,50	1,6-0,06	1,8-0,6
		20:24:21-06:53:01	10,50-11,51	0,06-1	0,6-1,1
3	27/02/2026	06:53:01-20:24:11	11,51-10,50	1-0,04	1,1-0,6
		20:24:21-06:52:51	10,5-11,51	0,04-0,09	0,6-1
4	28/02/2026	06:52:51-20:24:11	11,51-10,50	0,09-0,8	1-0,9
		20:24:21-06:43:31	10,5-11,51	0,8-0,06	0,9-0,8
5	01/03/2026	06:43:31-20:24:11	11,51-10,50	0,06-0,06	0,8-0,6
		20:24:21-06:59:21	10,50-11,50	0,06-0,8	0,6-0,9
6	02/03/2026	06:59:31-20:59:51	11,51-10,50	0,08-0,04	0,9-0,4
		21:00:01-07:03:51	10,50-11,51	0,04-0,09	0,4-1
7	03/03/2026	07:04:01-19:34:31	11,51-10,50	0,09-0,06	1-0,6
		19:34:41-07:03:11	10,50-11,54	0,06-0,07	0,6-0,8
8	04/03/2026	07:03:11-20:19:31	11,54-10,50	0,07-0,06	0,8-0,6
		20:19:41-06:54:11	10,50-11,5	0,06-0,06	0,6-0,8
9	05/03/2026	06:54:21-20:24:11	11,5-10,51	0,06-0,06	0,8-0,6
		20:24:21-07:04:21	10,58-11,49	0,06-0,07	0,6-0,8
10	06/03/2026	07:05:21-20:00:51	11,51-10,51	0,07-0,06	0,8-0,6
		20:01:11-07:30:31	10,5-11,49	0,06-0,06	0,6-0,6
11	07/03/2026	07:31:51-19:54:11	11,51-10,51	0,06-0,06	0,6-0,6
		19:54:21-06:42:31	10,5-11,49	0,06-0,06	0,6-0,6
12	08/03/2026	06:42:41-20:24:11	11,51-10,51	0,06-0,06	0,6-0,6
		20:24:21-06:54:11	10,5-11,49	0,06-0,06	0,6-0,6
13	09/03/2026	06:54:21-21:52:31	11,51-10,51	0,05-0,05	0,5-0,5
		21:52:41-07:18:11	10,55-11,5	0,05-0,06	0,5-0,6

Hari Ke-	Tanggal	Rentang Waktu	Baterai		
			Tegangan(V)	Arus(A)	Daya(W)
14	10/03/2026	07:18:21-18:49:31	11,51-10,50	0,06-0,06	0,6-0,6
		18:49:41-07:34:11	10,51-11,49	0,06-0,08	0,6-0,9
15	11/03/2026	07:34:21-17:27:31	11,50-10,51	0,08-0,10	0,9-1
		17:27:41-06:49:41	10,5-11,49	0,10-0,12	1-1,3
16	12/03/2026	06:52:21-19:56:01	11,51-10,51	0,12-0,09	1,3-0,9
		19:56:21-06:27:51	10,5-11,48	0,09-0,09	0,9-1
17	13/03/2026	06:28:01-19:47:31	11,51-10,51	0,1-0,08	1,1-0,8
		19:47:41-07:28:58	10,5-11,49	0,08-0,1	0,8-1,1
18	14/03/2026	07:29:38-19:47:31	11,51-10,51	0,1-0,8	1,1-80
		19:47:41-07:28:58	10,5-11,49	0,8-0,8	80-80
19	15/03/2026	07:29:38-19:47:31	11,51-10,51	0,81-0,33	9,3-0,8
		19:47:41-07:28:58	10,5-11,49	0,78-0,73	7,8-8,3
20	16/03/2026	07:29:38-19:47:31	11,51-10,51	0,1-0,08	1,1-0,8
		19:47:41-07:28:58	10,5-11,49	0,78-0,73	7,8-8,3
21	30/03/2026	10:24:25-18:11:25	12,13-10,51	3,34-3,11	40,5-32,6
		18:11:35-07:47:35	10,5-11,49	3,08-2,56	32,6-29,4
22	31/03/2026	07:48:05-19:47:31	11,51-10,51	3,34-3,11	40,5-32,6
		19:47:41-06:25:45	10,5-11,49	03,08-2,56	3,26-2,94
23	01/04/2026	06:25:55-19:47:31	12,13-10,51	3,34-3,11	40,5-32,6
		19:47:41-12:20:45	10,5-11,49	03,08-2,56	3,26-2,94
24	02/04/2026	12:20:55-15:07:05	11,51-10,51	3,34-3,11	4,05-3,26
		15:07:15-06:34:15	10,5-11,49	03,08-2,56	3,26-2,94
25	03/04/2026	06:34:25-19:47:31	11,51-10,51	3,34-3,11	4,05-3,26
		19:47:41-07:28:58	10,5-11,49	03,08-2,56	3,26-2,94
26	04/04/2026	07:29:08-19:47:31	11,51-10,51	3,34-3,11	4,05-3,26
		19:47:41-07:48:55	10,5-11,49	03,08-2,56	3,26-2,94
27	05/04/2026	07:48:05-18:09:29	11,82-10,51	1,38-5,08	16,30-53,17
		18:09:39-11:37:19	10,5-11,49	5,08-1,9	5,17-2
28	06/04/2026	11:37:49-12:56:09	11,51-10,51	3,24-3,11	3,73-3,26
		12:56:09-07:17:39	10,5-11,49	03,08-2,56	3,26-2,94
29	07/04/2026	07:17:39-16:38:29	12,13-10,51	3,34-3,11	4,05-3,26
		16:38:39-07:28:58	10,5-11,49	03,08-2,56	3,26-2,94
30	08/04/2026	07:48:05-19:47:31	12,13-10,51	3,34-3,11	4,05-3,26
		19:47:41-07:28:58	10,5-11,49	03,08-2,56	3,26-2,94

Sistem *Hybrid* ini bekerja dengan logika prioritas PLTS, Dimana perpindahan sumber daya ke PLN ditentukan oleh batas tegangan baterai ditentang 12 V, 11 V dan 10 V. sistem mulai menggunakan sumber PLTS saat pengisian baterai mencapai level stabil pada 11,51 V dipagi

hari rata-rata pukul 07:00 dan sistem secara otomatis berpindah total ke PLN saat tegangan baterai menyentuh angkat 10,50 V.

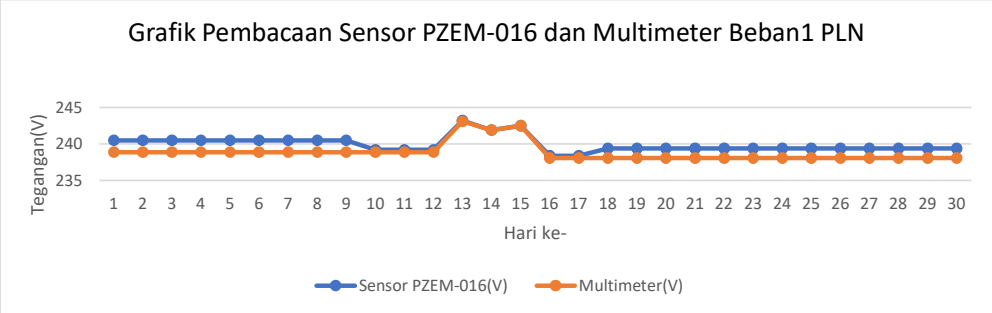
Pada tanggal 25/02/2026, terlihat durasi penggunaan PLTS yang sangat efektif selama 13 jam 21 menit. Perpindahan semua beban ke PLN pada pukul 21:05:01 menunjukkan bahwa sistem perlindungan baterai berfungsi dengan baik untuk mencegah pengosongan baterai berlebih.

4.4 Pengujian Akurasi Data Alat Ukur dan Sistem

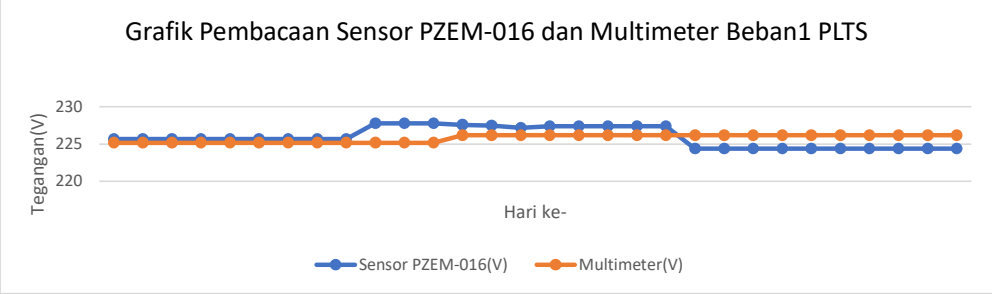
4.4.1 Pengujian Akurasi Data Menggunkan Multimeter

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur seberapa besar ketepatan hasil pengukuran tegangan menggunakan alat ukur multimeter terhadap sensor pzem 016. Pengujian diakukan disetiap sensor pada masing-masing inputan netral dan fasa, dilakukan satau-persatu secara bergantian, hal ini dilakukan untuk melihat perbedaan tegangan masing-masing beban 1 dan 2.

Pengukuran nilai sensor tegangan pada fasa dan netral yang dilakukan menggunakan multimeter sebagai pembanding dengan nilai tegangan yang dibaca oleh sensor pada saat beban terhubung. Proses pengukuran tegangan dilakukan dengan menghubungkan probe negatif dan probe positif multimeter pada masukkan sensor.



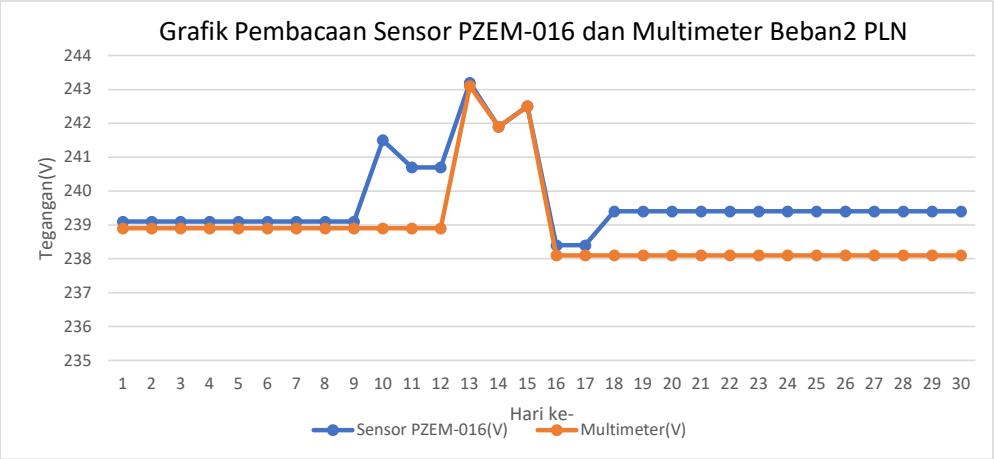
(a) Grafik Pembacaan Sensor PZEM-16 dan Multimeter Pada Beban 1 Dengan PLN



(b) Grafik Pembacaan Sensor PZEM-16 dan Multimeter Pada Beban 1 Dengan PLTS

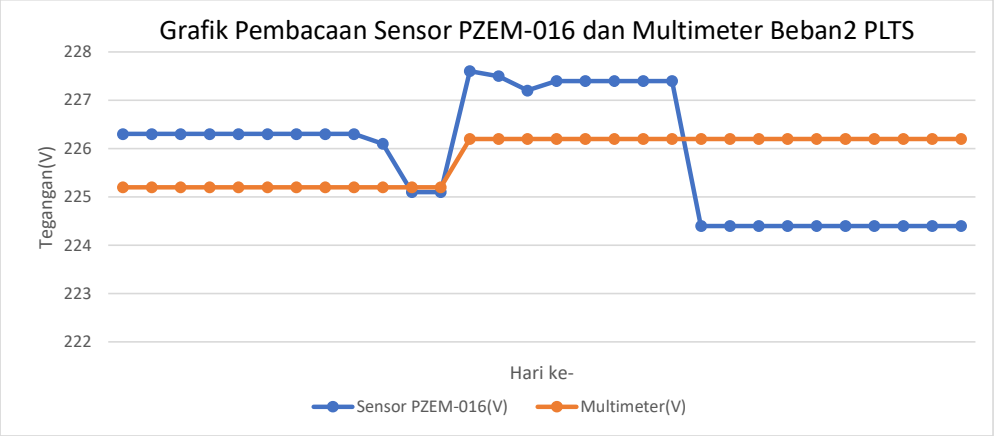
Gambar 4.5 Grafik Pembacaan Sensor PZEM-16 dan Multimeter Pada Beban 1

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa perbandingan nilai sensor PZEM-016 dan Multimeter pada Beban1 menunjukkan perbedaan yang relatif kecil, Dimana nilai galat yang dihasilkan berada dalam rentang yang masih diterima. Hasil ini memberikan indikasi bahwa sensor PZEM-016 mampu membaca tegangan dengan cukup baik.



(a) Grafik Pembacaan Sensor PZEM-016 dan Multimeter Pada Beban 2 Dengan PLN

(b)



(b) Grafik Pembacaan Sensor PZEM-016 dan Multimeter Pada Beban 2 Dengan PLTS

Gambar 4.6 Grafik Pembacaan Sensor PZEM-016 dan Multimeter Pada Beban 2

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa perbandingan nilai sensor PZEM-016 dan Multimeter pada Beban2 menunjukkan perbedaan yang relatif kecil, Dimana nilai galat yang dihasilkan berada dalam rentang yang masih diterima. Hasil ini memberikan indikasi bahwa sensor PZEM-016 mampu membaca tegangan dengan cukup baik.

Berdasarkan hasil pengukuran yang tercatat di dalam tabel, sensor PZEM-016 menunjukkan performa yang sangat mendekati hasil ukur alat standar (multimeter). Pada sumber PLN, sensor mencatat rata-rata tegangan di kisaran 238,4V hingga 243,2V. Sementara itu, pada sumber PLTS, sensor mendeteksi tegangan yang sedikit lebih rendah namun tetap stabil dalam rentang 224,4V hingga 227,8V. Perbedaan nilai antara beban 1 dan beban 2 terlihat sangat minim, menandakan distribusi tegangan yang merata pada sistem.

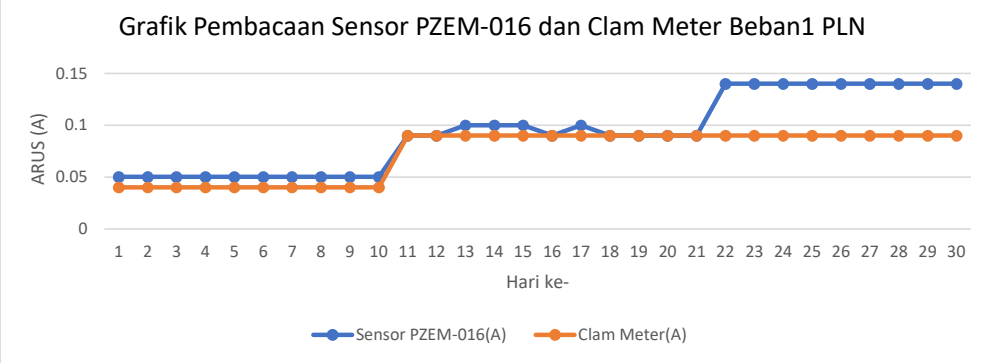
Dalam pengujian ini, tingkat akurasi sensor PZEM-016 tergolong sangat tinggi. Hal ini dibuktikan dengan presentase galat (error) yang mayoritas berada di angka 0% hingga 1%. Nilai selisih (error) terbesar hanya tercatat sebesar 2,6V pada hari ke-10, namun angka tersebut tetap berada dalam batas toleransi operasional yang wajar. Konsistensi pembacaan dari hari ke-1 hingga hari ke-30 menunjukkan bahwa sensor tidak mengalami gangguan performa nilai yang signifikan meskipun digunakan secara terus-menerus.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran selama 30 hari ini memberikan gambaran bahwa sistem monitoring berbasis sensor PZEM-016 memiliki reliabilitas yang sangat baik untuk memantau kualitas kelistrikan pada beban 1 dan beban 2. Dengan tingkat kesalahan yang sangat rendah (di bawah 2%), sistem ini layak digunakan sebagai instrumen pengawasan energi yang akurat untuk memastikan kestabilan suplai daya dari sumber PLN maupun PLTS.

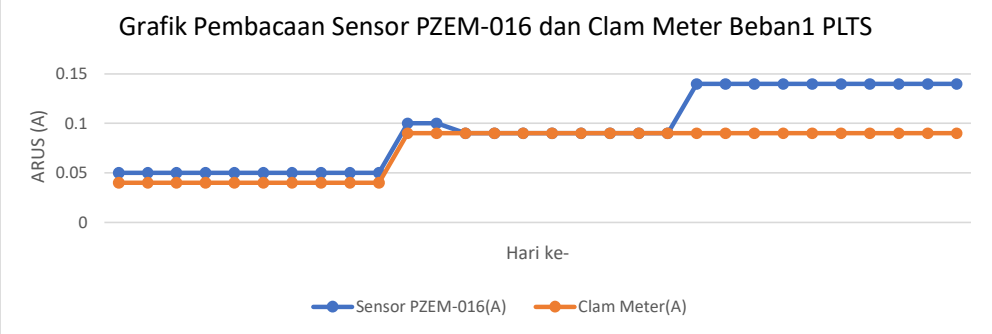
4.4.2 Pengujian Akurasi Data Menggunkan Clamp-Meter

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur seberapa besar ketepatan hasil pengukuran yang diperoleh oleh sensor PZEM 016 dan 017 dengan hasil alat ukur clampmeter, variable pengukuran yang akan diuji Adalah pembacaan arus pada masing-masing beban 1 dan 2.

Pengukuran nilai sensor arus pada fasa yang dilakukan menggunakan clampmeter sebagai pembanding dengan nilai arus yang dibaca oleh sensor pada saat beban terhubung. Proses pengukuran arus dilakukan dengan menghubungkan CT pada kabel netral masukkan sensor. Nilai arus yang terbaca oleh clampmeter kemudian dibandingkan dengan nilai arus yang terukur denga sensor.



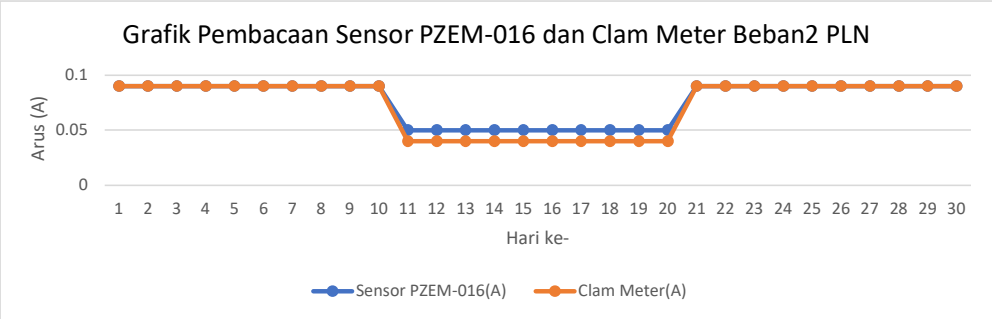
(a) Grafik Pembacaan Sensor PZEM-016 dan Clamp Meter Pada Beban 1 Dengan PLN



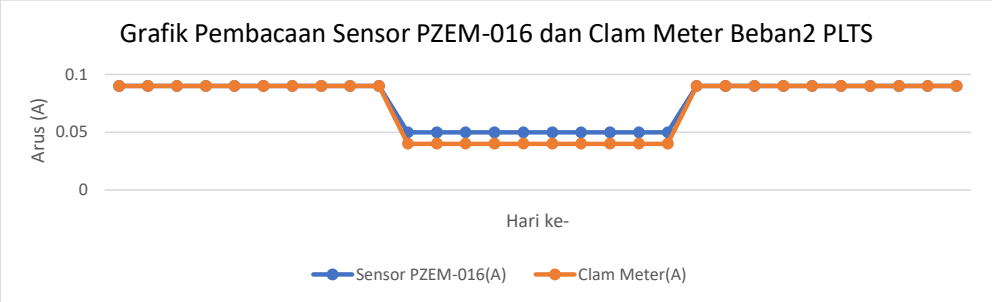
(b) Grafik Pembacaan Sensor PZEM-016 dan Clamp Meter Pada Beban 1 Dengan PLTS

Gambar 4.7 Grafik Pembacaan Sensor PZEM-016 dan Clamp Meter Pada Beban 1

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa perbandingan nilai sensor PZEM-016 dan Clam Meter pada Beban1 menunjukkan perbedaan yang relatif kecil, Dimana nilai galat yang dihasilkan berada dalam rentang yang masih diterima. Hasil ini memberikan indikasi bahwa sensor PZEM-016 mampu membaca arus dengan cukup baik.



(a) Grafik Pembacaan Sensor PZEM-016 dan Clamp Meter Pada Beban 2 Dengan PLN



(b) Grafik Pembacaan Sensor PZEM-016 dan Clamp Meter Pada Beban 2 Dengan PLTS

Gambar 4.8 Grafik Pembacaan Sensor PZEM-016 dan Clamp Meter Pada Beban 2

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa perbandingan nilai sensor PZEM-016 dan Clam Meter pada Beban2 menunjukkan perbedaan yang relatif kecil, Dimana nilai galat yang dihasilkan berada dalam rentang yang masih diterima. Hasil ini memberikan indikasi bahwa sensor PZEM-016 mampu membaca arus dengan cukup baik.

Berdasarkan hasil pengukuran, arus yang terbaca pada sistem berada pada rentang yang sangat rendah, yaitu antara 0,04A hingga 0,14A. Pada sepuluh hari pertama, sensor PZEM-016 mencatat arus yang sangat stabil di angka 0,05A untuk Beban 1 dan 0,09A untuk Beban 2. Meskipun terdapat perubahan pola beban pada hari ke-11 hingga ke-30, sensor tetap mampu mengikuti dinamika perubahan arus tersebut dengan mencatat kenaikan hingga 0,14A pada kondisi beban tertentu.

Dari sisi akurasi, terlihat adanya perbedaan nilai antara pembacaan sensor dengan alat ukur standar (Clam Meter). Terlihat bahwa pada rentang arus yang sangat kecil (di bawah 0,1A), persentase galat (error) cenderung meningkat, bahkan mencapai angka 25% hingga 56%. Secara teknis, hal ini disebabkan oleh karakteristik sensor arus yang memiliki ambang batas minimum (noise floor) tertentu, sehingga pada pembacaan arus yang sangat rendah, selisih pembacaan sebesar 0,01A atau 0,05A akan menghasilkan persentase galat yang terlihat besar secara matematis.

Secara keseluruhan, pengukuran arus pada Beban 1 dan Beban 2 menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis PZEM-016 dapat berfungsi dengan baik untuk mendeteksi keberadaan beban. Namun, perlu diperhatikan bahwa akurasi sensor akan jauh lebih optimal jika beban yang diukur memiliki nilai arus yang lebih besar (mendekati skala penuh sensor). Untuk penggunaan pada beban yang sangat kecil, sistem ini tetap dapat diandalkan sebagai indikator aktivitas beban meskipun terdapat selisih pembacaan pada nilai nominal arusnya.

4.5 Menganalisis dan membandingkan konsumsi energi antara penggunaan sistem *Hybrid* dan penggunaan listrik sepenuhnya dari PLN.

Pada Fase PLTS, menunjukan beban listrik yang disuplai sumber energi utama dari panel surya dan baterai dapat memenuhi konsumsi beban listrik dari pukul 07.00 hingga 19.00, kemudian dilanjuti dengan Fase PLN disaat energi listrik tidak tersedia dan tegangan baterai sudah mencapai batas minimum (10 V), PLN mengambil alaih beban pada malam hari hingga pagi hari rata-rata pukul 18.00/20:00 hingga 07:00. Pada hari ke 1 sampai 10 Beban1 menggunakan lampu Pilot Lamp dan Beban2 menggunakan lampu LED, sedangkan pada hari ke 11 sampai 20 Beban1 menggunakan lampu LED dan Beban2 menggunakan lampu Pilot Lamp, pada hari 21 samapi 30 Beban1 menggunakan lampu Kipas angin dan Beban2 menggunakan Lampu pijar.

Adapun untuk tegangan PLTS dan PLN menunjukkan perbedaan mencolok, pada PLTS kedua beban menerima tegangan dikisaran 224V-227V. Ini adalah angkayang sangat ideal karena mendekati standar (220V), ini menunjukkan inverter PLTS bekerja dengan sangat baik dan stabil. Sedangkan untuk tegangan PLN tegangan mencapai 238V-243V, termasuk kategori tegangan tinggi untuk skala rumah tangga.

Durasi penggunaan PLTS pada sistem *Hybrid* dalam rentang rata-rata 8 -12 jam pada Beban1 maupun Beban2 sesuai pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. sebagai contoh diambil dari sampel pada hari ke-27 pada Beban1 dan Beban2 .

- Beban1
  Sumber PLTS :
  $$\mathrm{E} = 30{,}64\ \mathrm{Watt} \times 8\ \mathrm{jam} = 245{,}12\ \mathrm{Wh}\ \text{perhari}$$
  Sumber PLN :
  $$\mathrm{E} = 32{,}75\ \mathrm{Watt} \times 16\ \mathrm{jam} = 524\ \mathrm{Wh}\ \text{perhari}$$
- Beban2
  Sumber PLTS :
  $$\mathrm{E} = 20{,}6\ \mathrm{Watt} \times 17\ \mathrm{jam} = 350{,}2\ \mathrm{Wh}\ \text{perhari}$$
  Sumber PLN :
  $$\mathrm{E} = 20{,}6\ \mathrm{Watt} \times 7\ \mathrm{jam} = 144{,}2\ \mathrm{Wh}\ \text{perhari}$$
- Total keseluruhan
  Sumber PLTS
  $$245{,}12\ \mathrm{Wh} + 350{,}2\ \mathrm{Wh} = 595{,}32\mathrm{Wh}$$
  Sumber PLN
  $$524\ Wh + 144{,}2\ Wh = 668{,}2\ Wh$$

Perhitungan jika menggunakan PLN 24 jam :

- Beban1
  $$E = 32{,}75\ Watt \times 24\ jam = 786\ Wh\ \text{perhari}$$
- Beban2
  $$E = 20{,}6\ Watt \times 24\ jam = 494{,}4\ Wh\ \text{perhari}$$
- Total keseluruhan
  $$786\ Wh + 494{,}4\ Wh = 1280{,}4\ Wh$$

Tabel 4.2 Perbandingan Efisiensi Sistem

Parameter	PLN 24 jam	Sistem Hybrid	Selisih
Energi Terbayar	1280,4	668,2	612,2
Presentaye biaya	100%	48%	52%

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem *Hybrid* PLTS dan PLN berbasis PLC dan HMI yang dapat mengintegrasikan sumber energi surya sebagai sumber utama terhadap sumber cadangan dari PLN. Sistem ini mampu melakukan peralihan perbeban secara otomatis dengan mempertimbangkan prioritas daya beban dan tegangan baterai.

Sistem ini dirancang menggunakan PLC Lollette LE3U sebagai pengendali logika dan HMI Haiwel C7S untuk monitoring real-time parameter kelistrikan seperti tegangan, arus dan daya aktif. Pemanfaatan sensor PZEM-016 untu sumber AC dan PZEM-017 untuk sumber DC terbukti mampu mendeteksi parameter listrik dengan akurata, ditunjukkan oleh kesesuaian data sensor dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter dan clampmeter, serta nilai simpangan baku yang rendah, pengujian system menunjukan bahwa:

1. Sistem monitoring melalui HMI bekerja efektif dalam menampilkan data logger untuk tiap sumber dan beban, sehingga memudahkan pengawasan dan pengambilan keputusan secara real-time.
2. Berdasarkan hasil pengujian terhadap Sensor PZEM-016 tegangan pada Beban1 dan Beban2 pembacaan sensor tergolong sangat baik dengan rata-rata error pada Beban1 0,62V, rata-rata presentase galat Beban1 0,26%, dan rata-rata error pada Beban2 0,47V, rata-rata presentase galat Beban2 0,19%.
3. Berdasarkan hasil pengujian terhadap Sensor PZEM-016 arus pada Beban1 dan Beban2 pembacaan sensor tergolong sangat baik dengan rata-rata error pada Beban1 0,02v, rata-rata presentase galat Beban1 19%, dan rata-rata error pada Beban2 0,0033V, rata-rata presentase galat Beban2 6,67%.
4. Implementasi sistem *Hybrid* berhasil mengurangi penggunaan energi PLN sebesar 52% dibandingakn dengan sistem PLN 24 jam penuh, dengan selisih energi yang berhasil dihemat mencapai 612,2 Wh perhari.
5. Perancangan sistem *Hybrid* pada PLTS dan PLN berbasis PLC dan HMI dapat bekerja serta berfungsi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] W. Suriana and W. Sugarayasa, “Rancang Bangun Sistem Kontrol Pembangkit Hybrid (PLN-Solar Cell) Berbasis Wemos D1 Mini Esp8266,” *Jurnal Riset Teknologi dan Inovasi Pendidikan Article History*, vol. Vol. 5 No. 2, pp. 93–104, Jun. 2022, [Online]. Available: https://journal.rekarta.co.id/index.php/jartika

[2] L. Ade Putri, M. Hafiz, and Z. Saputra, “Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Pada Pompa Air Untuk Tanaman Hidroponik,” 2021.

[3] B. Boranpil Juen, I. I. Wayan Suriana, A. Eng, I. Wayan Sukadana, and I. S. Wayan Sugara Yasa, “Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Antara Pln Dan Plts,” *Jurnal Ilmiah TELSINAS*, vol. Vol. 3 No. 2, no. 2, Sep. 2020.

[4] Juanita and R. Listiana, “Perancangan Sistem Kontrol Blynk Smarthome Dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hibrida Berbasis Programmable Logic Controller,” *Jurnal Mahasiswa Politeknik TEDC Bandung*, vol. Vol. 1 No. 1, 2024.

[5] I. M. A. Nugraha, I. G. M. N. Desnanjaya, L. G. G. Serihollo, and J. S. M. Siregar, “Perancangan Hybrid System PLTS dan Generator Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Tambak Udang Vaname: Studi Kasus Politeknik Keluatan Dan Perikanan Kupang,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 1, p. 121, Oct. 2020, doi: 10.24843/mite.2020.v19i01.p18.

[6] A. Siola, "Rancang Bangun Modul Automatic Transfer Switch (Ats) Dengan Menggunakan Programable Logic Controller (Plc) Omron Sysmac Cpm2a," *Jurnal: Elektrika Borneo (JEB)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2018.
[7] E. T. A. Duka, I. N. Setiawan, and A. I. Weking, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. Vol. 5 No. 2, no. 2, p. 67, Dec. 2018.
[8] Irawati, Sunardi, and A. Nurwanto,"Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Dengan Sistem Kontrol Automatic Transfer Switch (Ats) Dan Optimalisasi Kapasitas Baterai," *Jurnal Elektro & Informatika SWADHARMA (JEIS)*, vol. 03, no. 1, 2023.
[9] A. R. Wijaya and Z. Lutfiyani, "Rancang Bangun Prototype Kendali Motor Pompa Tendon Air Dengan Automatic Transfer Switch (Ats) Plts Dan Pln," *Jurnal Teknik Elektro FRaflesia (JTERAF)*, vol. 1, no. 2, 2021.
[10] P. Kartini, "Analisis Statistik Konsumsi Energi Listrik Pada Bangunan Gedung Yayasan Widya Dharma Pontianak," *Jurnal ELKHA*, vol. 9, no. 2, 2017.
[11] J. Anti, S. D. Panjaitan, and M. Saleh, "Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (Ats) Dengan Cadangan Sumber Energi Surya Untuk Beban Prioritas Berbasis Plc Dan Hmi," *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, vol. Vol. 10 No. 3, Aug. 2025, doi: 10.8734/Kohesi.v1i2.365.