

# SISTEM MONITORING PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA BERBASIS IOT

1<sup>st</sup> Josua S Kembaren  
Teknologi Komputer, Fakultas Ilmu  
Terapan  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
josuasembiring@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Mochammad Fahru Rizal, S.T.,  
M.T.  
Teknologi Komputer, Fakultas Ilmu  
Terapan  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
mfrizal@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Dr. Duddy Soegiarto, S.T., M.T  
Teknologi Komputer, Fakultas Ilmu  
Terapan  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
duddysu@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan dan semakin banyak digunakan, terutama untuk wilayah terpencil. Dalam Tugas Akhir ini, dirancang sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau kinerja panel surya secara efisien. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan dilengkapi dengan berbagai sensor untuk membaca parameter penting seperti tegangan, arus, suhu panel, suhu baterai, dan intensitas cahaya matahari. Komunikasi antar perangkat dilakukan melalui I2C multiplexer, yang memungkinkan pembacaan beberapa sensor secara bergantian. Data dikirim ke platform ThingSpeak untuk ditampilkan dalam bentuk grafik, sehingga pengguna dapat melihat perkembangan performa sistem secara historis. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur pengaman berupa relay otomatis yang memutuskan arus pengisian baterai jika suhu atau tegangan melebihi ambang batas. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi keandalan sistem dalam kondisi cuaca berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu berjalan stabil dan memberikan informasi penting secara akurat. Dengan demikian, sistem monitoring ini dapat digunakan sebagai solusi pemantauan efisien untuk PLTS skala kecil hingga menengah, serta mendukung pengelolaan energi terbarukan secara lebih cerdas dan berkelanjutan.

**Kata Kunci:** IoT, PLTS, ESP32, ThingSpeak, sensor suhu, sensor tegangan

## I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik secara global dan nasional mendorong peralihan ke sumber energi bersih dan berkelanjutan, seperti tenaga angin dan surya. Di Indonesia, meskipun potensi tenaga surya sangat besar karena letaknya di garis khatulistiwa dengan intensitas radiasi tinggi [1], pemanfaatannya masih terbatas, terutama pada sistem berskala kecil yang umumnya belum dilengkapi pemantauan terintegrasi. Ketidaktercukupannya sistem monitoring menyebabkan sulitnya evaluasi performa dan deteksi dini kerusakan, yang berdampak pada rendahnya efisiensi operasional. Salah satu pendekatan untuk mengatasi kendala tersebut adalah dengan menerapkan Internet of Things (IoT), yang memungkinkan perangkat saling terhubung melalui jaringan internet untuk mengumpulkan dan bertukar data secara otomatis [2]. Integrasi ini memungkinkan pemantauan parameter penting seperti tegangan, arus, suhu, dan intensitas cahaya melalui platform berbasis cloud yang dapat diakses

pengguna melalui berbagai perangkat. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring berbasis IoT yang mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan panel surya dan mendukung pemeliharaan sistem secara lebih responsif dan terjadwal. Studi terdahulu menunjukkan bahwa pendekatan IoT terbukti efektif, murah, dan fleksibel dalam pengawasan sistem energi [3], sehingga relevan untuk diimplementasikan dalam pengembangan sistem ini.

## II. KAJIAN TEORI

Bagian ini membahas teori-teori yang mendasari perancangan sistem monitoring PLTS berbasis IoT. Kajian ini mencakup penjelasan mengenai komponen, sensor, serta teknologi yang digunakan, guna memperkuat landasan ilmiah dalam pengembangan sistem.

### A. Panel Surya (Solar Panel)

Panel surya, atau modul fotovoltaik, adalah komponen inti dalam sistem PLTS yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) melalui prinsip efek fotovoltaik. Efisiensi konversi panel surya sangat bergantung pada beberapa faktor, termasuk intensitas radiasi matahari yang diterima, suhu permukaan panel, dan sudut paparan terhadap matahari. Panel surya umumnya diklasifikasikan berdasarkan material semikonduktor yang digunakan, yang memengaruhi karakteristik kinerja dan aplikasinya [2].

### B. Solar Charge Controller (SCC)

Pengontrol Muatan Surya (SCC) adalah komponen penting dalam sistem PLTS off-grid yang berfungsi mengatur aliran daya dari panel surya ke baterai dan beban. SCC melindungi baterai dari overcharge, over-discharge, dan arus balik, serta memastikan pengisian berlangsung efisien dan aman. Terdapat dua jenis utama SCC, yaitu PWM dan MPPT, yang berbeda dalam hal efisiensi dan cara kerja [4].

### C. VRLA (Valve-Regulated Lead-Acid)

Baterai atau aki berperan penting dalam sistem PLTS off-grid sebagai penyimpan energi listrik dari panel surya. Baterai menyediakan daya saat energi surya tidak tersedia, seperti malam hari atau cuaca buruk. Kinerja dan umur baterai dipengaruhi oleh tegangan, arus, dan suhu. Umumnya, PLTS menggunakan baterai jenis deep cycle yang tahan terhadap pengosongan berulang dalam kapasitas besar. [5].

#### D. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep teknologi yang menghubungkan perangkat fisik melalui internet untuk bertukar data secara otomatis. Dalam sistem monitoring, IoT memungkinkan pengumpulan dan visualisasi data dari berbagai Lokasi melalui platform cloud, sehingga mendukung pemantauan dan analisis jarak jauh. [3].

#### E. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah komputer mini dalam satu chip yang dirancang untuk mengontrol fungsi spesifik pada sistem tertanam. Dalam sistem monitoring, mikrokontroler berperan sebagai pusat pengolahan data dari sensor dan mengirimkannya ke platform melalui koneksi seperti Wi-Fi atau Bluetooth. [6].

#### F. Sensor Tegangan dan arus

Sensor tegangan dan arus digunakan untuk memantau kondisi kelistrikan dalam sistem seperti PLTS. Sensor ini mengukur tegangan dan aliran arus untuk menilai kinerja panel surya dan proses pengisian. Beberapa sensor dilengkapi komunikasi digital dan dapat diintegrasikan langsung dengan mikrokontroler, serta menggunakan resistor shunt eksternal untuk arus besar [7].

#### G. Sensor Intensitas Cahaya

Sensor intensitas cahaya digunakan untuk mengukur tingkat pencahayaan (lux) di lingkungan sekitar. Dalam PLTS, sensor ini membantu mengevaluasi performa panel surya berdasarkan cahaya yang diterima, sehingga dapat menilai efisiensi energi dan mendeteksi potensi gangguan akibat rendahnya paparan sinar matahari. [3].

#### H. Sensor Suhu

Sensor suhu dan kelembaban mengukur suhu udara dan kelembaban relatif secara bersamaan. Dalam PLTS, pemantauan suhu penting untuk menjaga efisiensi panel dan daya tahan baterai, sedangkan kelembaban berpengaruh terhadap kinerja dan keandalan komponen elektronik. Data dari sensor ini membantu mengevaluasi kondisi lingkungan dan mendukung pemeliharaan sistem secara menyeluruh. [8].

#### I. Board Expander I2C

Board Expander I2C, seperti multiplexer I2C 1-ke-8, digunakan untuk mengatasi keterbatasan jumlah perangkat I2C pada mikrokontroler, terutama jika alamat perangkat sama. Modul ini memungkinkan satu mikrokontroler mengakses beberapa jalur I2C secara terpisah, mencegah konflik alamat. Dengan kontrol saluran yang fleksibel dan kompatibilitas tegangan yang luas, expander ini sangat berguna dalam sistem monitoring yang melibatkan banyak sensor dan perangkat I2C [9].

#### J. modul step down

*Step-down converter*, atau sering disebut juga regulator tegangan penurun (seperti *buck converter*), adalah jenis konverter daya DC-ke-DC yang mengubah tegangan masukan DC yang lebih tinggi menjadi tegangan keluaran DC yang lebih rendah secara efisien. Komponen ini sangat krusial dalam sistem elektronik yang membutuhkan catu daya stabil dengan tegangan yang berbeda dari sumber utama [10]

#### K. Relay

Relay adalah komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai sakelar, namun pengoperasiannya dikendalikan secara elektrik. Ini berarti relay menggunakan sinyal listrik berdaya rendah untuk mengontrol sirkuit lain yang mungkin beroperasi pada tegangan atau arus yang jauh lebih tinggi, atau untuk menyediakan isolasi elektrik antara dua sirkuit [11].

#### L. LCD (Liquid Crystal Display)

LCD, atau *Liquid Crystal Display*, adalah teknologi tampilan visual datar yang fundamental dalam perangkat elektronik modern. Berbeda dengan tampilan yang memancarkan cahaya sendiri, LCD berfungsi dengan memodulasi atau mengontrol lewatnya cahaya dari sumber eksternal (biasanya *backlight*) melalui lapisan material kristal cair. Kemampuan unik ini memungkinkan LCD untuk menampilkan berbagai bentuk informasi visual, mulai dari teks sederhana hingga gambar kompleks [12].

#### M. Arduino Ide

Arduino IDE adalah perangkat lunak sumber terbuka yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode ke berbagai papan mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32. Dirancang untuk kemudahan penggunaan, IDE ini menyediakan lingkungan yang lengkap bagi pengembang untuk membuat program dan mengimplementasikannya pada sistem tertanam [16].

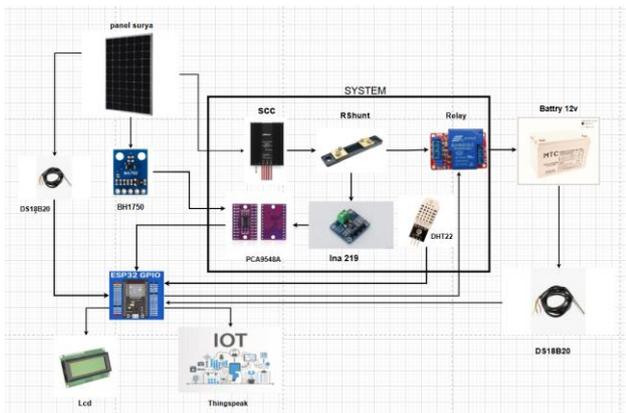
### III. METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai bulan Juli 2025 di Universitas Telkom, tepatnya di Gedung FIT (Fakultas Ilmu Terapan) lantai 1 di hangar.

#### A. Gambaren Sistem

Sistem yang dikembangkan merupakan sistem pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang untuk memantau kondisi panel surya dan baterai secara real-time. Panel surya berfungsi sebagai sumber daya utama yang menghasilkan energi listrik dari sinar matahari. Energi ini kemudian disalurkan ke baterai penyimpanan melalui perangkat solar charge controller (SCC) yang bertugas mengatur proses pengisian dan menjaga kestabilan tegangan serta arus agar tidak merusak baterai.

Untuk memantau parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya listrik yang mengalir dari panel surya ke baterai, digunakan sensor INA219 yang telah dimodifikasi dan dikalibrasi agar mampu membaca arus hingga 50 Ampere. Sensor ini terhubung ke mikrokontroler ESP32 melalui jalur komunikasi I2C dan dipasang pada jalur setelah SCC sebelum menuju baterai. Dengan konfigurasi ini, sistem dapat secara akurat mengukur performa pengisian dan kondisi sistem tenaga surya.



Gambar 1 Gambaran Sistem

Selain parameter kelistrikan, sistem juga memantau suhu dari beberapa titik penting. Sensor suhu tahan air DS18B20 digunakan untuk mendeteksi suhu permukaan panel surya dan suhu baterai. Sedangkan sensor DHT22 digunakan untuk memantau suhu lingkungan sistem secara keseluruhan. Informasi suhu ini sangat penting untuk menghindari risiko overheating yang dapat menurunkan efisiensi atau bahkan merusak komponen.

Untuk mengukur intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel, sistem menggunakan dua sensor BH1750 yang dipasang pada sudut berbeda. Kedua sensor ini tetap menggunakan jalur I2C namun memiliki alamat yang berbeda, memungkinkan sistem membandingkan tingkat pencahayaan dari dua sisi. Data ini penting untuk mengevaluasi efisiensi penyerapan cahaya oleh panel surya.

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem, mengumpulkan data dari seluruh sensor, menjalankan logika pemrosesan, serta mengontrol output sistem. Salah satu komponen kendali utama adalah modul relay yang akan aktif untuk memutuskan jalur pengisian baterai jika terdeteksi tegangan atau suhu melebihi batas aman. Untuk menampilkan informasi secara langsung, digunakan LCD 20x4 I2C yang menyajikan data sensor secara bergantian (sliding) agar seluruh parameter dapat terbaca dengan mudah.

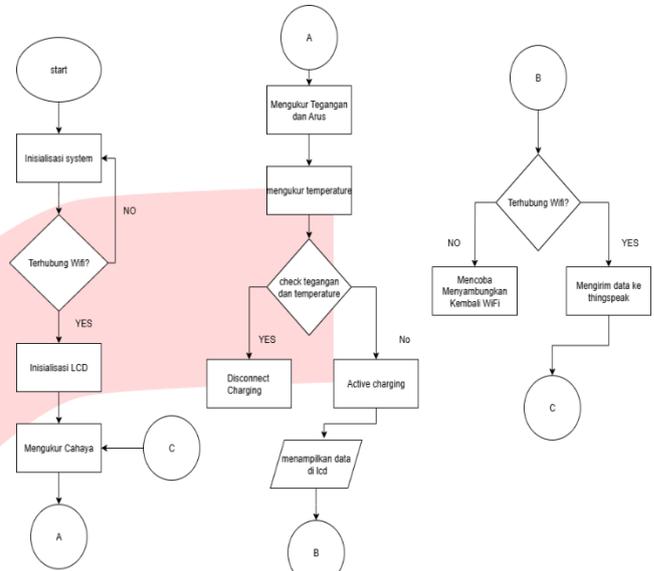
Agar ESP32 dapat mengelola berbagai sensor I2C dengan alamat serupa, sistem ini dilengkapi modul TCA9548A, yaitu multiplexer I2C 8-channel yang memungkinkan pengalihan akses antar perangkat dengan mudah. Sistem juga memiliki koneksi WiFi yang digunakan untuk mengirimkan data pemantauan ke platform ThingSpeak secara berkala. Dengan demikian, pengguna dapat memantau performa panel surya dan kondisi sistem secara jarak jauh melalui antarmuka berbasis web.

Secara keseluruhan, sistem ini terdiri dari perangkat input (sensor suhu, arus, tegangan, cahaya), unit pengolah (ESP32 dan multiplexer), serta perangkat output (relay, LCD, dan konektivitas WiFi), yang dirancang dalam satu kesatuan kerja yang terintegrasi untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan reliabilitas sistem PLTS.

## B. Flowchart Diagram

Proses diawali dari simbol Start, yang menandakan dimulainya operasi sistem. Langkah pertama adalah melakukan inisialisasi perangkat keras, yaitu mengaktifkan seluruh sensor, modul komunikasi WiFi, tampilan LCD, serta konfigurasi awal sistem seperti pengaturan alamat I2C dan pengaturan port input-output.

Setelah semua komponen aktif, sistem melakukan pemeriksaan konektivitas jaringan WiFi. Jika koneksi belum tersedia, mikrokontroler akan terus mencoba menyambung ke jaringan hingga koneksi berhasil terjalin. Koneksi internet ini sangat penting karena sistem akan mengirimkan data pemantauan ke platform IoT (seperti ThingSpeak) untuk kebutuhan monitoring jarak jauh.



Gambar 2 Flowchart Diagram

Jika koneksi internet sudah tersedia, sistem melanjutkan dengan inisialisasi tampilan LCD, lalu mulai membaca data dari berbagai sensor yang terpasang. Tahapan ini mencakup pembacaan intensitas cahaya matahari dari dua sensor BH1750 (yang masing-masing diletakkan pada posisi berbeda untuk membandingkan paparan cahaya), pengukuran tegangan dan arus dari panel surya menggunakan sensor INA219 atau PZEM, serta pengukuran suhu panel, suhu baterai, dan suhu lingkungan menggunakan sensor seperti DS18B20 dan DHT22.

Setelah data diperoleh, sistem akan melakukan analisis terhadap ambang batas suhu dan tegangan yang telah ditentukan sebelumnya. Contohnya, jika tegangan baterai melebihi 15V atau suhu baterai melampaui 40°C, sistem akan secara otomatis memutuskan jalur pengisian daya menggunakan relay sebagai bentuk tindakan pengamanan. Sebaliknya, jika kondisi tetap dalam batas normal, pengisian akan dilanjutkan seperti biasa.

Seluruh hasil pengukuran dan keputusan sistem akan ditampilkan pada LCD I2C, sehingga pengguna dapat langsung melihat informasi secara real-time. Pada saat yang sama, jika koneksi internet tersedia, sistem akan mengirimkan data ke server ThingSpeak. Bila koneksi terputus, sistem akan mencoba menyambung ulang sebelum proses pengiriman dilakukan.

Terakhir, setelah seluruh proses selesai, sistem akan kembali ke tahapan awal, yaitu pembacaan sensor. Proses ini dilakukan secara berulang (looping) sehingga sistem dapat melakukan pemantauan kondisi lingkungan dan komponen PLTS secara otomatis, real-time, dan berkelanjutan tanpa perlu campur tangan manusia secara langsung.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

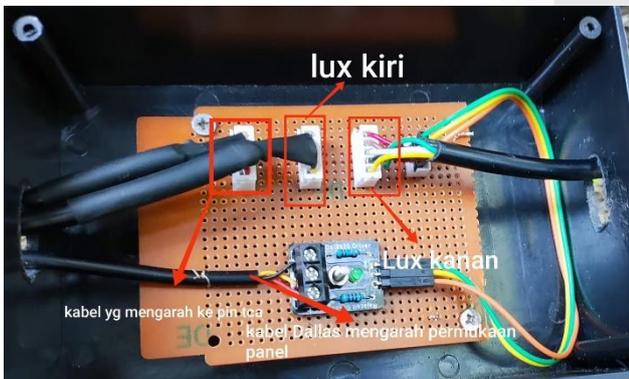
##### A. Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem merupakan bagian penting dalam mewujudkan desain menjadi sistem nyata yang berfungsi sesuai dengan tujuan awal. Pada proyek ini, sistem monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis IoT telah dirancang untuk memantau kondisi panel surya dan baterai secara real-time dengan dukungan berbagai sensor dan mikrokontroler ESP32.



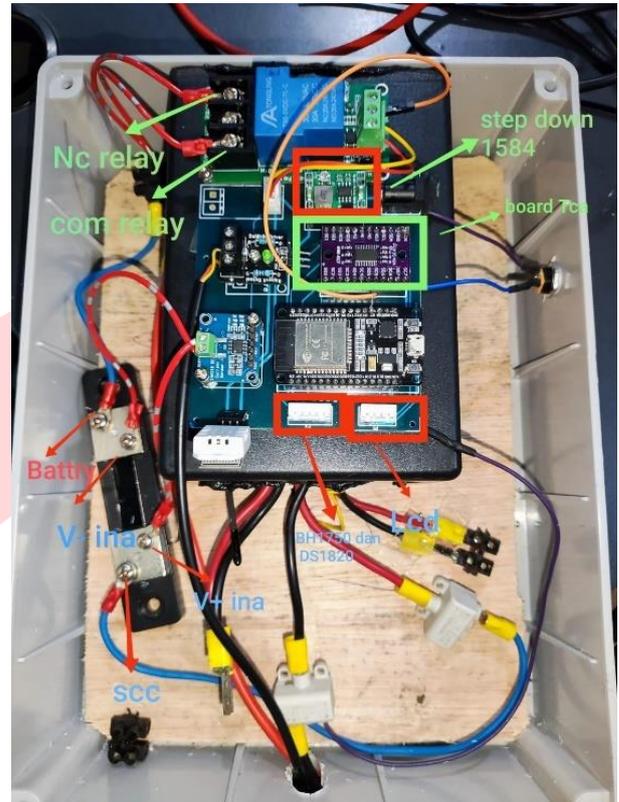
Gambar 3 sensor Cahaya (BH1750) dan suhu (DS18B20)

Implementasi dimulai dengan perakitan sensor intensitas cahaya matahari, sistem menggunakan dua buah sensor BH1750 yang masing-masing dipasang menghadap sisi kiri dan kanan panel surya. Tujuannya adalah untuk memperoleh data yang lebih akurat dan mencerminkan kondisi pencahayaan dari dua arah berbeda. Sensor ini berkomunikasi melalui protokol I2C dan dibedakan berdasarkan alamat perangkat.



Gambar 4 Casing kotak sensor Cahaya dan suhu

Pengukuran suhu panel dan baterai dilakukan menggunakan sensor DS18B20 waterproof, yang dikenal akurat dan tahan terhadap lingkungan luar. Sementara itu, sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara sekitar sebagai referensi lingkungan sistem.



Gambar 5 Sistem utama

Selanjutnya pemasangan ESP32, sensor, tampilan LCD, dan modul relay ke dalam satu sistem yang terintegrasi. ESP32 dipilih sebagai otak dari sistem karena memiliki konektivitas WiFi bawaan dan cukup daya pemrosesan untuk membaca data sensor, menampilkan informasi di LCD, serta mengirimkan data ke cloud platform.

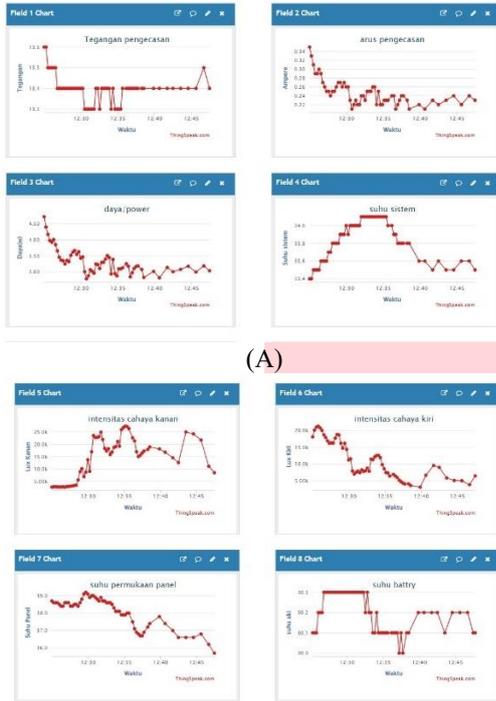
Untuk memantau arus dan tegangan pengisian baterai, digunakan sensor INA219 dengan resistor shunt eksternal 75mV/50A. Sensor ini mampu mengukur arus DC. Sensor dihubungkan melalui I2C multiplexer TCA9548A karena sistem menggunakan banyak perangkat dengan alamat I2C yang sama. Multiplexer memungkinkan ESP32 mengakses hingga delapan perangkat I2C berbeda melalui satu pin SDA dan SCL.

Setelah data dari sensor diperoleh, mikrokontroler akan melakukan pengecekan terhadap ambang batas tertentu. Misalnya, jika tegangan baterai melebihi 15V atau suhu baterai di atas 40°C, maka sistem akan secara otomatis memutus aliran pengisian daya menggunakan modul relay sebagai pengaman. Keputusan ini diambil untuk mencegah kerusakan komponen atau risiko keselamatan.

Informasi dari sensor ditampilkan secara lokal melalui LCD 20x4 I2C, yang menampilkan data dalam mode rotasi atau slide otomatis setiap beberapa detik. Pengguna dapat melihat status tegangan, arus, suhu, intensitas cahaya, dan status sistem secara langsung dari perangkat.

Selain tampilan lokal, sistem juga melakukan pengiriman data ke platform ThingSpeak secara berkala selama koneksi

WiFi tersedia. ThingSpeak berfungsi sebagai dashboard berbasis cloud yang menampilkan grafik per waktu, memungkinkan pengguna memantau performa sistem PLTS dari jarak jauh melalui smartphone atau komputer.



(B)  
Gambar 6 Tampilan Sistem



Gambar 7 Visualisasi numerik dan indikator overvoltage dan overtemperature

Agar semua komponen dapat berjalan stabil, rangkaian diberi catu daya melalui modul step-down LM2596 atau 1584, yang menurunkan tegangan dari sumber 12V menjadi 5V yang aman untuk ESP32 dan sensor. Seluruh rangkaian dirakit ke dalam kotak pelindung yang kuat dan tahan terhadap cuaca, untuk memastikan sistem dapat ditempatkan di luar ruangan tanpa gangguan.

Dengan implementasi ini, sistem dapat bekerja secara otomatis dan terus-menerus, membaca data dari sensor, mengambil keputusan pengamanan jika diperlukan, menampilkan status secara lokal, dan mengirimkan informasi ke cloud. Proses monitoring berlangsung dalam siklus loop tanpa intervensi manual.

### A. Hasil Pengujian

Pengujian sistem monitoring panel surya dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dari sistem dalam mencatat dan memvisualisasikan parameter-parameter penting yang berpengaruh terhadap efisiensi dan kestabilan sistem. Pengujian dilakukan selama tiga hari, yaitu mulai tanggal 11 hingga 13 Juli 2025, dengan pengambilan data dilakukan setiap 30 menit secara otomatis. Parameter-parameter yang dimonitor meliputi tegangan (V), arus (A), daya (W), suhu sistem, suhu panel, suhu baterai, serta intensitas cahaya (lux) dari sisi kanan dan kiri panel surya. Data yang terkumpul disajikan dalam bentuk tabel serta divisualisasikan dalam dua buah grafik untuk mempermudah analisis.

waktu	v	A	W	suhu sistem	suhu panel	suhu battery	lux kanan	lux kiri
11/7/2025 7:00	12.4	0,1	1,24	24	22	22	1010	769
11/7/2025 8:00	12.5	0,2	2,5	26	25	23	2159	1922
11/7/2025 9:00	12.6	0,2	2,5	27	27	24	2053	1933
11/7/2025 10:00	13,7	0,7	1,8	28	29	26	4352	3711
11/7/2025 11:00	13,8	1,1	15	31	55	29	31569	30186
11/7/2025 12:00	13,3	0,2	2,5	33	39	30	14471	14577
11/7/2025 13:00	12,7	0,2	2,5	33	39	30	14471	14577
11/7/2025 14:00	13	0,3	3,9	33	28	27	9706	11071
11/7/2025 15:00	12,9	0,2	6	31	28	29	1007	994
11/7/2025 16:00	12,5	0,3	3	29	11	13	144	313
11/7/2025 17:00	12,6	0,4	5	27	22	25	334	196
11/7/2025 18:00	12,6	0,4	5	27	23	25	133	4
11/7/2025 19:00	12,4	0,1	1,24	27	22	24	289	290
11/7/2025 20:00	12,3	0	0	26	21	23	145	285
11/7/2025 21:00	12,3	0	0	25	21	23	273	409
11/7/2025 22:00	12,3	0	0	25	20	22	404	138
11/7/2025 23:00	12,3	0	0	25	21	23	241	243

Gambar 8 Pengujian Hari Pertama

Berdasarkan grafik pertama yang menampilkan data tegangan, arus, daya, serta suhu-suhu sistem, dapat diamati bahwa karakteristik performa panel surya sangat dipengaruhi oleh waktu dan kondisi pencahayaan. Pada umumnya, nilai tegangan mulai meningkat sejak pukul 08.00 pagi dan mencapai puncaknya pada sekitar pukul 12.00 hingga 14.00 siang. Nilai tegangan maksimum yang tercatat adalah sekitar 13 volt. Arus juga menunjukkan pola yang serupa, dengan nilai puncak mencapai sekitar 1,2 ampere. Daya yang dihasilkan merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus, sehingga puncaknya berada di kisaran 15 hingga 20 watt. Menjelang sore hingga malam hari, semua nilai parameter listrik mengalami penurunan hingga mendekati nol, yang menunjukkan bahwa produksi energi listrik dari panel sangat bergantung pada sinar matahari.

waktu	v	A	W	suhu sistem	suhu panel	suhu battery	lux kanan	lux kiri
12/7/2025 0:00	12,3	0	0	25	20	22	240	475
12/7/2025 1:00	12,3	0	0	25	21	22	474	357
12/7/2025 2:00	12,3	0	0	25	20	22	240	241
12/7/2025 3:00	12,3	0	0	24	20	22	237	471
12/7/2025 4:00	12,3	0	0	24	20	21	362	124
12/7/2025 5:00	12,3	0	0	24	20	21	255	524
12/7/2025 6:00	12,3	0	0	24	20	21	362	327
12/7/2025 7:00	12,4	0,1	2	24	22	22	1008	795
12/7/2025 8:00	12,5	0,4	6	26	25	23	2167	1929
12/7/2025 9:00	12,6	0,5	7	27	27	24	2052	1933
12/7/2025 10:00	13,5	1	13	26	30	24	11029	9432
12/7/2025 11:00	14,3	1,5	21	30	49	27	30114	26517
12/7/2025 12:00	14,2	1,5	20	33	38	29	15432	14244
12/7/2025 13:00	13,6	0,7	1,7	33	35	29	8576	6589
12/7/2025 14:00	13,7	0,7	1,8	32	33	29	7124	6400
12/7/2025 15:00	13,5	0,6	1	32	28	28	2507	2303
12/7/2025 16:00	13,2	0,6	0,3	29	27	27	1216	1295
12/7/2025 17:00	12,6	0	0	26	22,1	24,2	4	5
12/7/2025 18:00	12,6	0	0	27	23	25	134	4
12/7/2025 19:00	12,6	0	0	26	22,1	24,2	4	5
12/7/2025 20:00	12,4	0	0	26	21	23	145	285
12/7/2025 21:00	12,4	0	0	25	21	23	273	409
12/7/2025 22:00	12,4	0	0	25	20	22	404	138
12/7/2025 23:00	12,4	0	0	25	21	23	241	243

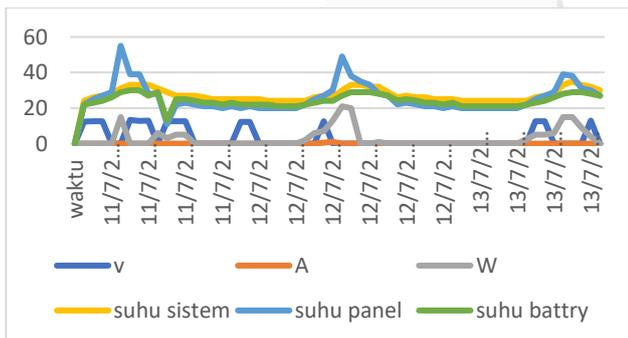
Gambar 9 Pengujian Hari Kedua

Hari kedua pengujian menunjukkan pola yang serupa, namun dengan sedikit variasi. Tegangan maksimum masih berkisar di angka  $\pm 13$  volt, dengan arus sedikit lebih rendah dibandingkan hari pertama. Daya juga mencatat nilai maksimum sekitar 18 watt. Suhu panel kembali naik saat siang hari, bahkan sedikit lebih tinggi dari hari sebelumnya, yaitu sekitar  $54^{\circ}\text{C}$ . Sementara suhu sistem dan suhu baterai tetap relatif stabil. Intensitas cahaya kembali mencapai puncaknya di siang hari, meskipun nilai maksimum lux sedikit lebih rendah dibandingkan hari pertama, kemungkinan karena adanya sedikit mendung. Meskipun demikian, kinerja sistem tetap baik, dan semua parameter tercatat dengan akurat oleh sistem monitoring.

waktu	v	A	W	suhu suster	suhu panel	suhu batry	lux kanan	lux kiri
13/7/2025 1:00	12,4	0	0	24	20	21	474	457
13/7/2025 2:00	12,4	0	0	24	20	21	340	341
13/7/2025 3:00	12,4	0	0	24	20	21	337	571
13/7/2025 4:00	12,4	0	0	24	20	21	342	358
13/7/2025 5:00	12,4	0	0	24	20	21	265	522
13/7/2025 6:00	12,3	0	0	24	20	21	362	327
13/7/2025 7:00	12,4	0,1	2,3	24	22	22	1008	795
13/7/2025 8:00	12,5	0,3	5	26	25	23	2167	1929
13/7/2025 9:00	12,6	0,4	5	27	27	24	2052	1933
13/7/2025 10:00	12,7	0,5	6	28	29	26	4367	3723
13/7/2025 11:00	13,8	1,1	15	33	39	28	22768	20232
13/7/2025 12:00	13,8	1,1	15	35	38	29	10572	12514
13/7/2025 13:00	13,3	0,9	9	33	31	29	5473	5330
13/7/2025 14:00	13	0,3	4	32	30	28	4554	3695
13/7/2025 15:00	12,8	0,1	1,5	30	27	27	1592	1609

Gambar 10 Pengujian Hari Ketiga

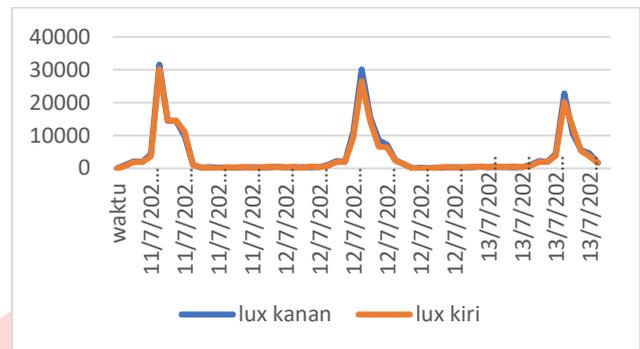
Pada hari ketiga, kondisi pencahayaan tampak lebih rendah dibandingkan dua hari sebelumnya. Tegangan dan arus masih menunjukkan kenaikan pada siang hari, namun nilai maksimumnya sedikit menurun, dengan tegangan sekitar 12,5 volt dan daya maksimum sekitar 16 watt. Suhu panel juga sedikit lebih rendah, berada di kisaran  $48^{\circ}\text{C}$ . Data intensitas cahaya menunjukkan nilai puncak hanya sekitar 25.000–28.000 lux, menandakan bahwa hari tersebut cenderung lebih berawan. Walaupun demikian, sistem tetap mampu mencatat seluruh parameter secara konsisten. Ini membuktikan bahwa sistem monitoring memiliki keandalan dalam kondisi pencahayaan yang tidak selalu maksimal.



Gambar 11 Grafik tegangan ,arus dan suhu

Grafik pertama menyajikan data tegangan, arus, daya, serta suhu panel, suhu sistem, dan suhu baterai selama tiga hari pengujian. Dari grafik ini, terlihat jelas pola harian yang konsisten: seluruh parameter listrik (V, A, W) mulai meningkat sejak pagi hari, mencapai puncaknya antara pukul 11.00 hingga 13.00, lalu menurun kembali menjelang sore. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh pencahayaan alami. Suhu panel juga meningkat tajam saat siang hari, mengikuti pola peningkatan lux, sementara suhu sistem dan suhu baterai tetap lebih

rendah dan stabil. Grafik ini memberikan gambaran bahwa suhu panel perlu diperhatikan karena bisa mencapai titik panas yang berpotensi mengganggu efisiensi konversi daya jika tidak ditangani dengan sistem proteksi suhu atau ventilasi.



Gambar 12 Grafik Intensitas Cahaya

Grafik kedua menampilkan data intensitas cahaya dari dua sensor cahaya (lux kiri dan kanan). Keduanya menunjukkan pola yang hampir identik, dengan peningkatan drastis pada pagi hingga siang hari, lalu menurun kembali saat sore hingga malam hari. Nilai lux tertinggi tercatat di atas 30.000 lux pada hari pertama dan kedua, namun sedikit lebih rendah pada hari ketiga. Grafik ini menegaskan bahwa intensitas cahaya menjadi faktor utama dalam memengaruhi output daya panel surya. Keseimbangan nilai antara sensor kiri dan kanan juga menunjukkan bahwa posisi panel sudah cukup baik dalam menerima cahaya dari kedua sisi secara merata.



Gambar 13 perbandingan dengan multimeter



Gambar 14 perbandingan dengan system

Sebagai validasi, dilakukan perbandingan antara data sistem monitoring dan alat ukur eksternal berupa multimeter digital pada pukul 12:35. Multimeter menunjukkan tegangan sebesar 13,33 volt dan arus 0,21 ampere, sedangkan sistem monitoring mencatat 13,4 volt dan 0,23 ampere. Selisih kecil antara keduanya menunjukkan bahwa sistem memiliki system yang baik dan dapat diandalkan untuk pencatatan data tegangan dan arus.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis Internet of Things (IoT) telah berhasil dikembangkan. Sistem ini mampu melakukan pengukuran terhadap sejumlah parameter penting seperti tegangan, arus, suhu pada panel surya, baterai, dan lingkungan, serta intensitas cahaya matahari. Pengukuran tersebut dilakukan dengan bantuan sensor INA219, BH1750, DS18B20, dan DHT22 yang saling terintegrasi. Seluruh data hasil pembacaan ditampilkan melalui layar LCD I2C 20x4 dan juga dikirim ke platform ThingSpeak sebagai media pemantauan berbasis cloud. Di samping itu, sistem dilengkapi dengan fitur proteksi otomatis menggunakan modul relay yang berfungsi untuk memutus pengisian baterai ketika nilai tegangan atau suhu telah melebihi batas yang ditentukan. Sistem ini menunjukkan kemampuan kerja yang stabil dalam berbagai kondisi lingkungan, sehingga dapat digunakan sebagai solusi pemantauan berkelanjutan pada sistem PLTS.

## REFERENSI

- [1] T. Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia, F. Afif dan, and A. Martin, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia," vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2022.
- [2] F. Ferdyson and J. Windarta, "Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, Sep. 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.15714.
- [3] M. Y. R. H. Cahaya Lidya Aritonang, "Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Intensitas Cahaya pada Panel Surya dengan Thingspeak," Jan. 2020.
- [4] N. F. Wahidin, E. Yadie, and M. A. Putra, "Analisis Perbandingan Solar Charging Controller (SCC) Jenis PWM Dan MPPT Pada Automatic Handwasher with Workstation Bertenaga Surya Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid*, vol. 3, no. 1, p. 12, Jun. 2022, doi: 10.46964/poligrd.v3i1.1490.
- [5] H. Suyanto, R. Aita Diantari, and T. Joko Pramono, "Study of Optimization of VRLA and Lithium Batteries for Load Consumption of Linear and Nonlinear," Apr. 2023.
- [6] W. Yuniarto, M. Diponegoro, E. Program Studi Teknik Elektro, P. Negeri Pontianak, K. Barat, and K. Kunci, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things (IoT)," 2023.
- [7] G. W. Kurniawan, I. G. A. P. R. Agung, and P. Rahardjo, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis Internet of Things," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 133, Jun. 2023, doi: 10.24843/mite.2023.v22i01.p17.
- [8] R. Duanaputri, I. Heryanto, / Eryk, M. Firas Sajidan, M. F. Hakim, and A. Lukita Wardani, "Sistem Monitoring Online Dan Analisis Performansi Plts Panel Surya Monocrystalline 100 Wp Berbasis Web," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, Jan. 2023.
- [9] A. Assem, A. Nady, M. Darwish, M. Elalfy, and M. Ezzeldin, "An Interactive 3D Physical Model for Real-Time Management of the Built Environment," *Architecture and Urban Planning*, vol. 21, no. 1, pp. 53–69, Jan. 2025, doi: 10.2478/aup-2025-0005.
- [10] A. Dwi Risdhayanti, Ari Murtono, W. Tri Wahono, and M. A. J. A. G. Ghaly, "Kunci Pintu Otomatis Menggunakan ESP32 CAM," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 11, no. 3, pp. 814–825, Sep. 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i3.5884.
- [11] T. D. Lorobezy and Krismadinata, "Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Off-Grid Berbasis IoT," *MSI Transaction on Education*, vol. 4, no. 2, pp. 71–84, Aug. 2023, doi: 10.46574/mtd.v4i2.111.
- [12] W. Latifah, M. Nuzuluddin, and I. Komala Dewi Patwari, "Rancang Bangun Kontrol Charger Station Dengan Panel Surya Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal PRINTER: Jurnal Pengembangan Rekayasa Informatika dan Komputer*, vol. 2, no. 1, pp. 1–14, Jun. 2024, doi: 10.29408/jprinter.v2i1.23750.
- [13] L. O. Sari, M. F. E. Saputra, and E. Safrianti, "Sistem Monitoring Arus Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) pada Solar Panel di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UIN Suska Riau," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i1.1033.
- [14] T. D. Lorobezy and Krismadinata, "Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Off-Grid Berbasis IoT," *MSI Transaction on Education*, vol. 4, no. 2, pp. 71–84, Aug. 2023, doi: 10.46574/mtd.v4i2.111.
- [15] W. Latifah, M. Nuzuluddin, and I. Komala Dewi Patwari, "Rancang Bangun Kontrol Charger Station Dengan Panel Surya Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal PRINTER: Jurnal Pengembangan Rekayasa Informatika dan Komputer*, vol. 2, no. 1, pp. 1–14, Jun. 2024, doi: 10.29408/jprinter.v2i1.23750.
- [16] L. O. Sari, M. F. E. Saputra, and E. Safrianti, "Sistem Monitoring Arus Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) pada Solar Panel di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UIN Suska Riau," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i1.1033.