

RANCANG BANGUN SISTEM *MONITORING IOT* PADA PENGISIAN BATERAI *SEALED LEAD ACID* BERBASIS APLIKASI *MOBILE* UNTUK MENCEGAH *OVERHEATING* DAN *OVERCHARGING*

Rizal W.H. Siagian¹, Leonardus Guido Adi Wungo², Rodrick Benediktus Kainama², I Gusti Agung Putu Raka Agung⁴, Made Sudarma⁵

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{4,5}Dosen Program Studi, Fakultas, Universitas

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali 80361

rizalsiagian2021@gmail.com, guido.adi036@student.unud.ac.id,

rodrick.benediktus049@student.unud.ac.id

ABSTRAK

Baterai *Sealed Lead Acid* (SLA) rentan mengalami kerusakan akibat *overcharging* dan *overheating* selama proses pengisian. Untuk mengatasi masalah ini, pada penelitian akan dirancang dan dibangun sistem *monitoring* kondisi baterai SLA berbasis *Internet of Things* (IoT), Sistem ini terintegrasi dengan aplikasi *mobile* yang dapat memonitor pengisian dua baterai SLA secara nirkabel, untuk mencegah *overheating* dan *overcharging*. Sistem ini menggunakan sensor INA219 untuk mendeteksi tegangan dan arus, serta DS18B20 untuk mendeteksi suhu. Data arus, suhu, dan tegangan dikirim ke Firebase menggunakan koneksi WiFi pada ESP32 dan ditampilkan pada aplikasi Android bernama MySyM yang dirancang menggunakan Android Studio. Penelitian ini berhasil merealisasikan sistem *monitoring* IoT yang fungsional, akurat, dan efektif untuk meningkatkan keamanan pada pengisian baterai SLA. Analisis hasil pengujian sensor INA 219 dan DS18B20 menghasilkan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) dengan rata-rata MAE tegangan sebesar 0,24995 V dan suhu 2,1068°C untuk baterai 12 V, serta rata-rata MAE tegangan sebesar 0,1299 V dan 1,3295°C untuk baterai 6 V.

Kata kunci : Baterai SLA, IoT, ESP32, Aplikasi Android, Sensor, Firebase.

ABSTRACT

Sealed Lead Acid (SLA) batteries are prone to damage caused by *overcharging* and *overheating* during the charging process. To address this issue, this study aims to design and develop an *Internet of Things* (IoT)-based monitoring system integrated with a mobile application to wirelessly monitor the charging of two SLA batteries, as well as prevent *overheating* and *overcharging*. The system employs the INA219 sensor to measure voltage and current, and the DS18B20 sensor to measure temperature. Current, temperature, and voltage data are transmitted to Firebase using an ESP32 microcontroller and displayed on an Android application called MySyM, developed with Android Studio. This research successfully realizes a functional, accurate, and effective IoT-based monitoring system to enhance the safety of SLA battery charging. The analysis of test results for the INA219 and DS18B20 sensors shows a *Mean Absolute Error* (MAE) of 0.24995 V for voltage and 2.1068 °C for temperature on the 12 V battery, as well as 0.1299 V for voltage and 1.3295 °C for temperature on the 6 V battery, demonstrating high measurement accuracy.

Key Words: SLA Battery, IoT, ESP32, Android Application, Sensors, Firebase

1. PENDAHULUAN

Baterai *Sealed Lead Acid* merupakan jenis baterai yang digunakan dalam berbagai aplikasi kelistrikan, seperti kendaraan bermotor, sistem UPS (*Uninterruptible Power Supply*), hingga sistem penyimpanan energi. Keunggulan baterai ini terletak pada kemampuannya menyuplai arus listrik yang stabil, kapasitas besar, dan harga yang relatif terjangkau dibandingkan dengan jenis baterai lainnya.

Namun, baterai SLA memiliki keterbatasan berupa risiko *overheating* dan *overcharging*, yang dapat mempercepat penurunan kapasitas dan usia baterai. Selama pemakaian, baterai akan mengalami siklus pengisian dan pelepasan energi secara berulang. Jika digunakan terus-menerus, baterai dapat mengalami penurunan kapasitas serta berkurangnya kinerja [1]. Kerusakan pada baterai dapat terjadi akibat penggunaan yang tidak tepat, seperti kapasitas yang dibiarkan habis atau terisi berlebihan. Hal ini bisa menimbulkan panas berlebih (*overheating*) dan memperpendek umur baterai [2]. Proses pengisian baterai *Sealed Lead Acid* sering kali dilakukan tanpa pengawasan yang memadai, terutama pada perangkat pengisian konvensional. Parameter penting seperti tegangan, arus, dan suhu baterai selama proses pengisian meningkatkan risiko kerusakan yang tidak hanya merugikan pengguna dari segi biaya, tetapi juga berpotensi membahayakan keselamatan.

Oleh karena itu, diperlukan sebuah solusi inovatif yang dapat mendeteksi kondisi baterai selama pengisian untuk mencegah terjadinya *overheating* dan *overcharging*. Penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang dan membangun sistem *monitoring* IoT untuk baterai *Sealed Lead Acid*, terutama selama proses pengisian daya. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi suhu, arus, dan tegangan baterai menggunakan sensor khusus. Sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu baterai tanpa terpengaruh suhu lingkungan di sekitarnya. Sementara

itu, sensor INA219 digunakan untuk mendeteksi arus dan tegangan secara simultan dengan data yang presisi. Sistem ini memastikan bahwa fokus pemantauan terletak pada kondisi baterai secara langsung, tanpa terganggu oleh faktor eksternal. Hasil pemantauan dari sensor dikirimkan ke Firebase untuk diproses dan ditampilkan kepada pengguna melalui aplikasi *mobile* yang dirancang khusus. Notifikasi akan dikirimkan secara otomatis ke perangkat pengguna jika suhu, arus, atau tegangan baterai melebihi batas aman. Fitur ini memungkinkan pengguna bukan hanya memantau kondisi baterai, tetapi juga melakukan tindakan pencegahan agar terhindar dari kerusakan akibat *overheating* maupun *overcharging*. Sistem *monitoring* berbasis IoT telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi industri, termasuk pemantauan daya dan baterai. Sistem *monitoring* IoT memungkinkan operator untuk mendeteksi parameter penting secara nirkabel tanpa harus berada di lokasi secara langsung, sehingga meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko kegagalan sistem akibat keterlambatan deteksi gangguan [3].

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Overheat

Overheat merupakan kondisi ketika suhu pada baterai meningkat melebihi batas normal. Hal ini biasanya disebabkan oleh pengisian berlebih, beban berlebih, atau lingkungan yang panas. *Overheating* juga terjadi karena keterbatasan ruangan yang sempit sehingga sirkulasi udara berkurang dan panas terperangkap [4]. Oleh karena itu, sistem *monitoring* diperlukan untuk mendeteksi dan menghentikan pengisian ketika suhu melewati ambang batas aman.

2.2 Overcharge

Overcharge adalah kondisi di mana baterai tetap menerima arus listrik meskipun kapasitasnya telah penuh. Kondisi ini menyebabkan elektrolit menjadi panas, tekanan meningkat, dan risiko kegagalan baterai menjadi lebih besar yang dapat mengakibatkan penurunan umur pakai baterai. Tingkat penurunan akibat

overcharge bergantung pada berbagai faktor seperti C-rate, suhu operasi, ukuran, arsitektur, dan kimia sel [5].

2.3 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan suatu sistem yang memungkinkan perangkat saling berkomunikasi melalui internet untuk bertukar data secara otomatis. Dalam konteks pengisian baterai, IoT berhasil melakukan pemantauan suhu, arus, dan tegangan melalui sensor yang datanya dikirim ke dalam *server cloud*, *platform* sebagai lapisan perangkat lunak untuk mengelola dan menganalisis data, serta aplikasi yang memberikan layanan dan informasi berdasarkan data yang dikumpulkan dari perangkat dan *platform* IoT [6].

2.4 Power Supply

Power supply adalah rangkaian elektronika yang berfungsi mengubah arus listrik bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) untuk memberikan suplai tegangan. Komponen ini merupakan bagian penting dalam elektronika karena berperan sebagai sumber energi listrik bagi peralatan elektronika [7].

2.5 Baterai SLA

Baterai adalah perangkat yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui proses elektrokimia (*Linden's Handbook of Batteries*). Salah satu jenisnya adalah baterai *Sealed Lead Acid* (SLA), yang umum digunakan pada sepeda listrik, terutama tipe *deep cycle*. Baterai *deep cycle* dirancang untuk menyediakan energi secara bertahap dalam waktu lama, dengan pelat yang lebih tebal dan daya tahan tinggi terhadap siklus pengisian dan pengosongan berulang [8]. Penelitian ini menggunakan dua jenis baterai SLA: 6 V 7.5 Ah dan 12 V 12 Ah. Setiap baterai memiliki batas aman parameter suhu, tegangan, dan arus yang berbeda.

2.6 ESP32

Sebagai papan sirkuit berbasis *chip*, ESP32 dapat digunakan untuk menjalankan fungsi mikrokontroler dan memiliki kapabilitas untuk terhubung ke internet (*Wi-Fi*) [9]. Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai pusat kontrol sistem:

membaca data dari sensor, mengatur status relay, dan mengirimkan data ke Firebase. Pemrogramannya dilakukan menggunakan Arduino IDE.

2.7 Sensor INA219

Sensor INA219 berfungsi untuk membaca tegangan dan arus pada jalur pengisian. Sensor ini menggunakan protokol I2C dan mampu membaca tegangan hingga 26 V dan arus hingga $\pm 3.2^\circ$ [10].

2.8 Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu pada permukaan baterai secara langsung. Sensor ini menggunakan komunikasi 1-Wire dan memiliki akurasi $\pm 0.5^\circ\text{C}$ di rentang suhu -10°C hingga $+85^\circ\text{C}$ dan dapat mengukur suhu dari -55°C sampai $+125^\circ\text{C}$ [11].

2.9 Relay 2 Channel

Relay adalah perangkat elektromagnetik yang berfungsi sebagai saklar elektronik, bekerja dengan menutup atau membuka kontaktor melalui induksi magnet pada kumparan saat dialiri arus listrik [12]. Sistem ini menggunakan relay 2 channel yang dikontrol oleh ESP32. Relay akan aktif memutus pengisian jika terjadi *overheat* atau *overcharge*, dan akan aktif kembali saat parameter kembali normal

2.10 Buck Converter XL4015

XL4015 adalah modul *buck converter step-down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari *power supply* (15V) menjadi tegangan yang sesuai untuk pengisian baterai 6V dan 12V. Modul ini memiliki efisiensi tinggi dan mampu menangani arus hingga 5A, serta dilengkapi potensiometer untuk pengaturan tegangan *output* [13].

2.11 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan *software* yang berfungsi untuk menyusun dan mengelola *sketch* pemrograman. Melalui Arduino IDE, pengguna dapat mengubah, membuat, mengunggah ke board tertentu, serta menuliskan program yang diinginkan. Perangkat lunak ini dilengkapi dengan *library C/C++ (wiring)* dalam operasi *input/output* dan menggunakan bahasa pemrograman Java [14].

2.12 Android Studio

Android Studio dibangun di atas IntelliJ IDEA dan berfungsi sebagai lingkungan pengembangan terpadu untuk merancang aplikasi pada platform Android. Dalam prosesnya, pembuatan antarmuka atau layout dilakukan dengan XML, sementara logika program dapat ditulis menggunakan Kotlin maupun Java. Selain itu, Android Studio terintegrasi dengan *Android Software Development Kit* (SDK) yang berfungsi menjalankan serta menghubungkan aplikasi ke perangkat Android [15].

2.13 Firebase

Firebase merupakan layanan untuk memudahkan pengembang dalam proses pembuatan aplikasi. Dalam penelitian ini, Firebase dimanfaatkan sebagai basis data pada sistem yang datanya akan dikirim ke *smartphone* Android (Firebase, n.d.). Proses memasukkan data ke Firebase Database disebut dengan istilah *push* [16].

2.14 Mean Absolute Error (MAE)

Mean Absolute Error (MAE) adalah cara yang digunakan untuk menghitung seberapa akurat suatu model peramalan. Nilai Mean Absolute Error menunjukkan rata-rata kesalahan yang terjadi dengan data yang benar-benar ada dan hasil peramalan [17]. Dalam penelitian ini, MAE digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan pembacaan sensor suhu, arus, dan tegangan terhadap nilai referensi.

2.15 Metode Constant Current - Constant Voltage (CC-CV)

CC-CV adalah cara mengisi baterai yang terdiri dari dua tahap: tahap Constant Current (CC) di mana arus pengisian tetap dan tegangan meningkat, serta tahap Constant Voltage (CV) di mana tegangan tetap dan arus berkurang [18].

METODOLOGI PENELITIAN

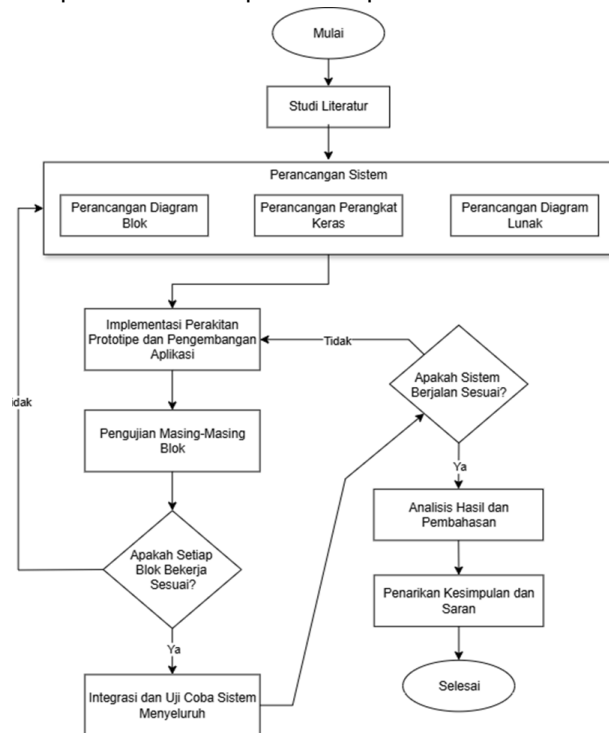
3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen rekayasa (*engineering experiment*) dengan pendekatan perancangan dan implementasi sistem *monitoring* IoT pada pengisian baterai *Sealed Lead Acid*. Tujuan utama adalah merancang sistem pemantauan suhu, arus,

dan tegangan saat proses pengisian berlangsung, serta mengaktifkan notifikasi dan pemutusan arus otomatis bila parameter melebihi batas aman.

3.2 Tahap Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teori serta referensi yang relevan. Selanjutnya, dilakukan perancangan sistem mencakup diagram blok, perangkat keras, dan perangkat lunak. Setelah itu, sistem diimplementasikan melalui perakitan komponen dan pengembangan aplikasi. Masing-masing blok sistem diuji secara terpisah untuk memastikan fungsinya. Jika seluruh blok berfungsi dengan baik, dilakukan integrasi dan uji coba sistem secara keseluruhan. Apabila sistem berjalan sesuai harapan, data hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem. Tahapan diakhiri dengan penarikan kesimpulan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut. Diagram blok sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



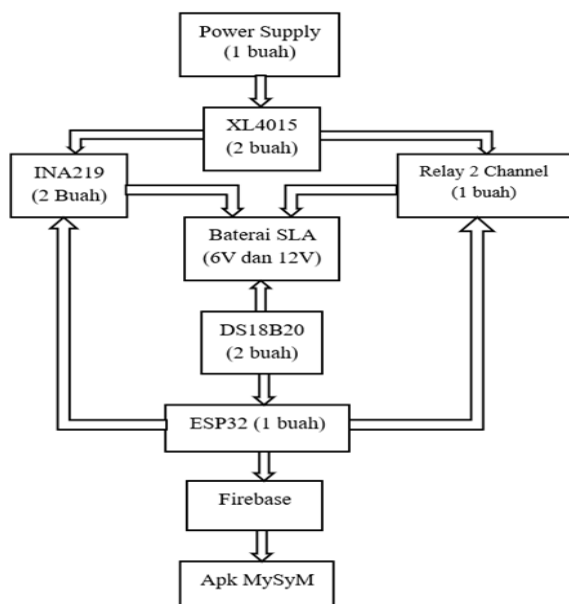
Gambar 1. Tahapan Penelitian

3.3 Sistem monitor baterai *Sealed Lead Acid*

Sistem *monitoring* IoT dalam penelitian ini dirancang untuk mencegah *overheating* dan *overcharging* saat

pengisian baterai *Sealed Lead Acid* (SLA). Sistem ini memanfaatkan sensor DS18B20 untuk mendeteksi suhu, serta INA219 untuk membaca arus dan tegangan. Seluruh data dikirim oleh ESP32 ke Firebase, lalu ditampilkan melalui aplikasi Android bernama MySyM. Sistem akan menghentikan pengisian baterai secara otomatis melalui modul relay jika salah satu parameter pengisian melewati batas maksimum (14,8 V / 3,2 A untuk baterai 12 V dan 7,45 V / 2,25 A untuk baterai 6V) dan suhu melebihi 40°C untuk kedua baterai.

Aplikasi MySyM berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan data suhu, arus, dan tegangan dari kedua baterai. Aplikasi ini memberikan notifikasi secara otomatis jika terjadi *overheat* atau *overcharge*, sehingga pengguna dapat segera mengetahui kondisi baterai selama proses pengisian. Adapun diagram blok sistem monitor baterai *Sealed Lead Acid* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok sistem

Berdasarkan Gambar 2, Rancangan sistem IoT dalam penelitian ini dirancang dengan memanfaatkan berbagai komponen utama, seperti sensor suhu DS18B20 untuk mendeteksi perubahan suhu, serta sensor INA219 yang berfungsi untuk mendeteksi arus dan tegangan pada proses pengisian baterai *Sealed Lead Acid* (SLA). Arus listrik

masuk dari sumber listrik melalui *power supply* untuk mengubah arus AC menjadi DC yang selanjutnya dari *power supply* akan melewati *DC to DC step down* untuk mengatur arus dan tegangan yang akan masuk ke masing masing baterai.

Semua data yang diperoleh dari sensor-sensor ini akan diproses oleh ESP32. ESP32 mengirimkan data yang telah dikumpulkan ke Firebase sehingga informasi dapat diakses secara langsung dan ditampilkan dalam aplikasi yang dirancang khusus untuk pengguna.

Sistem ini mendeteksi dan mengendalikan pengisian baterai *Sealed Lead Acid* secara untuk mencegah *overheating* dan *overcharging*. Dengan sensor suhu, arus, dan tegangan yang terhubung ke ESP32, sistem memutuskan pengisian melalui relay jika parameter melebihi batas aman. *Overcharging* terjadi pada tegangan yang melebihi 14,8 V (Baterai 12 V) dan melebihi 7,45 V (Baterai 6 V) dan arus yang melebihi 3,2 A (baterai 12 V) dan arus yang melebihi 2,25 A (Baterai 6 V), sedangkan untuk *overheating* terjadi ketika suhu melebihi 40°C (Kedua baterai).

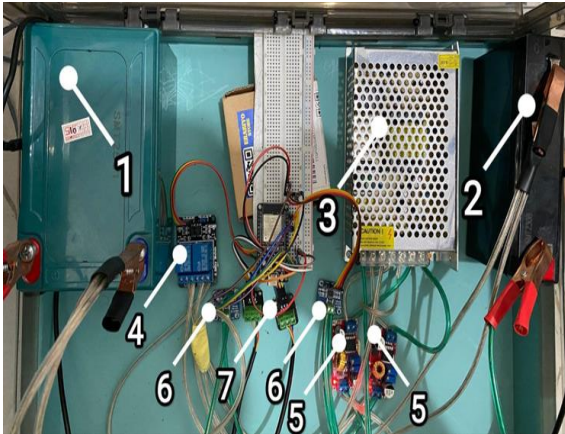
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Implementasi Alat

Sistem *monitoring* IoT ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk mendeteksi dan mencegah kondisi *overcharging* dan *overheating* pada baterai *Sealed Lead Acid* seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Dua buah sensor INA219 digunakan untuk mendeteksi nilai arus dan tegangan untuk masing masing baterai, dengan dua alamat I2C yaitu 0x40 dan 0x44. Selain itu, terdapat dua sensor suhu DS18B20 dengan alamat masing-masing, yaitu 2884255900000049 (baterai 6 V), dan 28EC245704E13CC1 (baterai 12 V). Sensor-sensor ini memungkinkan pemantauan suhu, arus dan tegangan secara akurat.

Mikrokontroler ESP32 bertugas membaca data dari seluruh sensor, memproses, serta mengirimkannya ke Firebase Realtime Database melalui koneksi *Wi-Fi*. Data ini kemudian ditampilkan melalui aplikasi Android MySyM, yang dibangun secara mandiri dan terintegrasi dengan Firebase. Untuk proses pengisian, digunakan dua modul *buck converter* XL4015 yang dapat menyesuaikan tegangan serta arus dari *power supply* 15V 5A agar sesuai dengan kebutuhan masing-masing baterai. Selain itu, sistem dilengkapi dengan sebuah relay 2 *channel* yang berfungsi sebagai aktuator untuk memutus arus pengisian secara otomatis apabila terdeteksi kondisi tidak aman berdasarkan pembacaan sensor.

Seluruh komponen ini dihubungkan ke ESP32 dan data yang dikumpulkan dikirimkan secara nirkabel ke Firebase. Setelah data arus, suhu dan tegangan dikirim ke Firebase, data lalu diakses oleh aplikasi MySyM. Logika pengendalian untuk perlindungan terhadap *overcharging* dan *overheating* diprogram langsung pada ESP32, yang akan mengaktifkan atau menonaktifkan channel relay sesuai dengan hasil pembacaan parameter dari sensor.



Gambar 3. Hasil Rancang Bangun Alat

4.2 Pengujian Fungsionalitas Firebase

4.2.1 Pengujian Firebase Realtime Database

Pengujian Firebase Realtime Database menunjukkan bahwa ESP32 akan mengirim data sensor ke Firebase Realtime Database setiap kali ESP32 membaca data

sensor. ESP32 diatur untuk membaca data sensor setiap 1 detik. Data yang muncul pada Firebase Realtime Database dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengujian Firebase Realtime Database

N o.	Data	Firestore Database
1.	arus: 0,15 A suhu: 28,44°C tegangan: 12,02 V last_updated: 17532678593 19 milidetik	
2.	arus: 0,11 A suhu: 28,44°C tegangan: 12,02 V last_updated: 17532678877 58 milidetik	
3.	arus: 0,11 A suhu: 28,38°C tegangan: 12,02 V last_updated: 17532679171 98 milidetik	

4.2.2 Pengujian Firestore Database

Pengujian firestore Database berhasil menunjukkan Firebase Functions berhasil mengirim data dari ESP32 ke Firebase Realtime Database. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian Firestore

Database pada kedua baterai SLA (6 V dan 12 V).

Tabel 2. Pengujian Firestore Database

Baterai 1 (Baterai 12 V)		
No	Data Sensor	Gambar
1	arus: 2,59 suhu: 28,94 timestamp: June 12, 2025, 12:56:29 WITA tegangan: 12,81	current: 2.59 temperature: 28.94 timestamp: June 12, 2025 at 12:56:29 AM UTC+8 voltage: 12.81
2	arus: 2,48 suhu: 29 timestamp: June 12, 2025, 01:06:39 WITA tegangan: 13,19	current: 2.48 temperature: 29 timestamp: June 12, 2025 at 1:06:39 AM UTC+8 voltage: 13.19
3	arus: 2,37 suhu: 29,19 timestamp: June 12, 2025, 01:16:44 WITA tegangan: 13,22	current: 2.37 temperature: 29.19 timestamp: June 12, 2025 at 1:16:44 AM UTC+8 voltage: 13.22

Baterai 2 (Baterai 6 V)		
No	Data Sensor	Gambar
1	arus: 2,27 suhu: 28,44 timestamp: June 11, 2025, 07:42:42 WITA tegangan: 6,58	current: 2.27 temperature: 28.44 timestamp: June 11, 2025 at 7:42:42 PM UTC+8 voltage: 6.58
2	arus: 2,12 suhu: 28,75 timestamp: June 11, 2025, 07:52:32 WITA tegangan: 6,62	current: 2.12 temperature: 28.75 timestamp: June 11, 2025 at 7:52:32 PM UTC+8 voltage: 6.62
3	arus: 2,01 suhu: 29 timestamp: June 11, 2025, 08:02:02 WITA tegangan: 6,65	current: 2.01 temperature: 29 timestamp: June 11, 2025 at 8:02:02 PM UTC+8 voltage: 6.65

4.3 Hasil Pengujian Alat

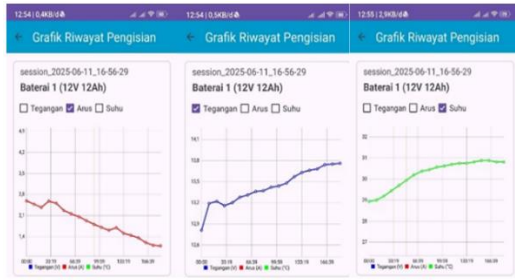
4.3.1 Monitoring Pengisian Baterai 12V 12Ah

Sistem pengisian baterai 12V 12Ah menggunakan sumber PLN 220V AC yang dikonversi menjadi DC melalui *power supply* 15V 5A. Tegangan ini kemudian diturunkan oleh *buck converter* XL4015 menjadi 14,0V dan arus maksimal dibatasi hingga 3,2A agar sesuai spesifikasi baterai dan batas INA219.

Output positif dari *buck converter* masuk ke INA219 untuk mendeteksi arus dan tegangan, lalu dilanjutkan ke terminal positif baterai. Jalur negatif melewati modul relay sebelum ke terminal negatif, memungkinkan pemutusan otomatis jika suhu, arus, atau tegangan melebihi batas. Data dari INA219 dan DS18B20 dikirim ke ESP32, lalu diteruskan ke Firebase. Aplikasi MySyM menampilkan informasi pengisian secara real-time dan memberi notifikasi saat terjadi kondisi tidak aman.

Tabel 3. Monitoring Pengisian Baterai 12V

NO	Hasil Pengukuran Aplikasi	Hasil Pengukuran Menggunakan Multimeter dan Termometer	Selisih Pengukuran Aplikasi dan Alat Ukur
	Suhu(°C), Tegangan(V), dan Arus(A)	Tegangan(V) Suhu (°C)	Tegangan(V) Suhu (°C)
1	Tegangan: 13,01 V Arus: 2,68 A Suhu: 28,94°C	Tegangan: 12,89 V Suhu: 26,8°C	Tegangan: 0,12 V Suhu: 2,14 °C
2	Tegangan: 13,05 V Arus: 2,7 A Suhu: 28,87°C	Tegangan: 12,92 V Suhu: 26,4 °C	Tegangan: 0,13 V Suhu: 2,47 °C
3	Tegangan: 13,1 V Arus: 2,74 A Suhu: 28,87°C	Tegangan: 12,96 V Suhu: 26,4 °C	Tegangan: 0,14 V Suhu: 2,57°C
4	Tegangan: 13,15 V Arus: 2,53 A Suhu: 28,94°C	Tegangan: 13,02 V Suhu: 27,4°C	Tegangan: 0,13 V Suhu: 1,54°C
5	Tegangan: 13,2 V Arus: 2,53 A Suhu: 29°C	Tegangan: 13,07 V Suhu: 27,8°C	Tegangan: 0,13 V Suhu: 1,2°C
6	Tegangan: 13,25 V Arus: 2,31 A Suhu: 29,87°C	Tegangan: 13,13 V Suhu: 28,1°C	Tegangan: 0,12 V Suhu: 1,77°C
7	Tegangan: 13,3 V Arus: 2,21 A Suhu: 30,12°C	Tegangan: 13,18 V Suhu: 28,7°C	Tegangan: 0,12 V Suhu: 1,42°C
8	Tegangan: 13,35 V Arus: 2,02 A Suhu: 30,37°C	Tegangan: 13,24 V Suhu: 28,9°C	Tegangan: 0,11 V Suhu: 1,47°C
9	Tegangan: 13,4 V Arus: 1,86 A Suhu: 30,44°C	Tegangan: 13,3 V Suhu: 29,1°C	Tegangan: 0,1 V Suhu: 1,34°C
10	Tegangan: 13,45 V Arus: 1,68 A Suhu: 30,62°C	Tegangan: 13,35 V Suhu: 29,2°C	Tegangan: 0,1 V Suhu: 1,42°C
11	Tegangan: 13,5 V Arus: 1,58 A Suhu: 30,62°C	Tegangan: 13,4 V Suhu: 29,5°C	Tegangan: 0,1 V Suhu: 1,12°C
12	Tegangan: 13,55 V Arus: 1,72 A Suhu: 30,69°C	Tegangan: 13,49 V Suhu: 29,3°C	Tegangan: 0,06 V Suhu: 1,39°C
13	Tegangan: 13,6 V Arus: 1,62 A Suhu: 30,81°C	Tegangan: 13,51V Suhu: 29,4°C	Tegangan: 0,09 V Suhu: 1,41°C
14	Tegangan: 13,65 V Arus: 1,53 A Suhu: 30,81°C	Tegangan: 13,56V Suhu: 29,3°C	Tegangan: 0,09 V Suhu: 1,51°C
15	Tegangan: 13,7 V Arus: 1,31 A Suhu: 30,88°C	Tegangan: 13,6 V Suhu: 29,7°C	Tegangan: 0,1 V Suhu: 1,18°C
16	Tegangan: 13,75 V Arus: 1,12 A Suhu: 30,81°C	Tegangan: 13,68 V Suhu: 29,5°C	Tegangan: 0,07 V Suhu: 1,31°C
17	Tegangan: 13,8 V Arus: 0,96 A Suhu: 30,81°C	Tegangan: 13,73 V Suhu: 29,7°C	Tegangan: 0,07 V Suhu: 1,11°C



Gambar 4. Grafik Pengisian Baterai 12 V

Adapun perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk tegangan dilakukan berdasarkan nilai selisih pembacaan tegangan dari setiap sampel sesuai Tabel 3, dengan hasil sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{17} \times (|0,12| + |0,13| + |0,14| + |0,13| + |0,13| + |0,12| + |0,12| + |0,11| + |0,10| + |0,10| + |0,10| + |0,06| + |0,09| + |0,09| + |0,10| + |0,07| + |0,07|)$$

$$MAE = \frac{1}{17} \times 1,78$$

$$MAE = 0,1047$$

Untuk perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) pada perbandingan nilai suhu dilakukan berdasarkan nilai selisih pembacaan tegangan dari setiap sampel sesuai Tabel 3, dengan hasil sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{17} \times (|2,14| + |2,47| + |2,57| + |1,54| + |1,2| + |1,77| + |1,42| + |1,47| + |1,34| + |1,42| + |1,12| + |1,39| + |1,41| + |1,51| + |1,18| + |1,31| + |1,11|)$$

$$MAE = \frac{1}{17} \times 26,37$$

$$MAE = 1,5511$$

4.3.2 Monitoring Pengisian Baterai 6 V 7,5 Ah

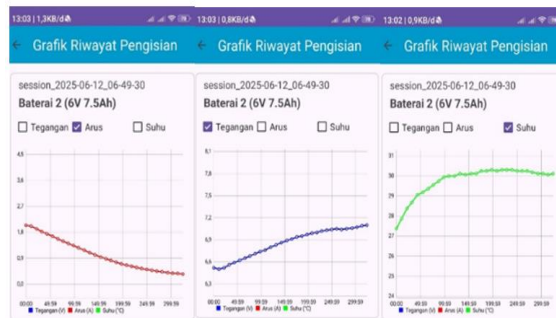
Sistem pengisian baterai 6V 7,5 Ah menggunakan sumber PLN 220V AC yang dikonversi menjadi DC melalui *power supply* 15V 5A. Tegangan ini kemudian diturunkan oleh *buck converter* XL4015 menjadi 7,45V dan arus maksimal dibatasi hingga 2,25A agar sesuai spesifikasi baterai.

Output positif dari *buck converter* masuk ke INA219 untuk mendeteksi arus dan tegangan, lalu dilanjutkan ke terminal positif baterai. Jalur negatif melewati modul relay sebelum ke terminal negatif, memungkinkan pemutusan otomatis jika suhu, arus, atau tegangan melebihi batas. Data dari INA219 dan DS18B20 dikirim ke

ESP32, lalu diteruskan ke Firebase. Aplikasi MySyM menampilkan informasi pengisian secara real-time dan memberi notifikasi saat terjadi kondisi tidak aman

Tabel 4. Monitoring Pengisian Baterai 6 V

No	Hasil Pengukuran Aplikasi	Hasil Pengukuran Menggunakan Multimeter dan Termometer	Selisih Pengukuran Aplikasi dan Alat Ukur
	Suhu(°C), Tegangan(V) dan Arus(A)	Tegangan (V) Suhu (°C)	Tegangan (V) Suhu (°C)
1	Tegangan: 6,45 V Arus: 2,23 A Suhu: 27,37°C	Tegangan: 6,36 V Suhu: 25,9°C	Tegangan: 0,09 V Suhu: 1,47°C
2	Tegangan: 6,5 V Arus: 2,1 A Suhu: 27,37°C	Tegangan: 6,4 V Suhu: 26°C	Tegangan: 0,1 V Suhu: 1,46°C
3	Tegangan: 6,55 V Arus: 1,85 A Suhu: 28,69°C	Tegangan: 6,44 V Suhu: 26,2°C	Tegangan: 0,11 V Suhu: 2,49°C
4	Tegangan: 6,6 V Arus: 1,73 A Suhu: 29,06°C	Tegangan: 6,51 V Suhu: 26,6°C	Tegangan: 0,09 V Suhu: 2,46°C
5	Tegangan: 6,65 V Arus: 1,58 A Suhu: 29,44°C	Tegangan: 6,57 V Suhu: 27,1°C	Tegangan: 0,08 V Suhu: 2,34°C
6	Tegangan: 6,7 V Arus: 1,43 A Suhu: 29,69°C	Tegangan: 6,62 V Suhu: 27,5°C	Tegangan: 0,08 V Suhu: 2,49°C
7	Tegangan: 6,75 V Arus: 1,31 A Suhu: 29,94°C	Tegangan: 6,68 V Suhu: 27,8°C	Tegangan: 0,07 V Suhu: 2,14°C
8	Tegangan: 6,8 V Arus: 1,18 A Suhu: 30,06°C	Tegangan: 6,74 V Suhu: 28,1°C	Tegangan: 0,06 V Suhu: 1,96°C
9	Tegangan: 6,85 V Arus: 1,03 A Suhu: 30,12°C	Tegangan: 6,79 V Suhu: 28,7°C	Tegangan: 0,06 V Suhu: 1,42°C
10	Tegangan: 6,9 V Arus: 0,92 A Suhu: 30,19°C	Tegangan: 6,85 V Suhu: 28,4°C	Tegangan: 0,05 V Suhu: 1,79°C
11	Tegangan: 6,95 V Arus: 0,78 A Suhu: 30,25°C	Tegangan: 6,91 V Suhu: 29,0°C	Tegangan: 0,04 V Suhu: 1,25°C



Gambar 5. Grafik Pengisian Baterai SLA 6V

Adapun perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk tegangan dilakukan berdasarkan nilai selisih pembacaan tegangan dari setiap sampel sesuai Tabel 4, dengan hasil sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{11} \times (|0,09| + |0,1| + |0,11| + |0,09| + |0,08| + |0,08| + |0,07| + |0,06| + |0,06| + |0,05| + |0,04|)$$

$$MAE = \frac{1}{11} \times 0,83$$

$$MAE = 0,0754$$

Untuk perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) pada perbandingan nilai suhu dilakukan berdasarkan nilai selisih pembacaan tegangan dari setiap sampel sesuai Tabel 4, dengan hasil sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{11} \times (|1,47| + |1,46| + |2,49| + |2,46| + |2,34| + |2,49| + |2,14| + |1,96| + |1,42| + |1,79| + |1,25|)$$

$$MAE = \frac{1}{11} \times 21,27$$

$$MAE = 1,9336$$

Gambar 4 dan 5 menunjukkan selama proses pengisian pada kedua baterai, teramati bahwa tegangan baterai perlahan meningkat, sementara arus pengisian mengalami penurunan. Fenomena ini merupakan karakteristik umum dari proses pengisian baterai SLA, di mana pada tahap awal pengisian arus cenderung tinggi karena perbedaan tegangan antara sumber dan baterai masih besar. Seiring meningkatnya tegangan baterai, perbedaan ini mengecil sehingga arus pengisian menurun.

Proses ini dikenal sebagai metode pengisian dengan mode tegangan tetap (*constant voltage charging*) yang secara perlahan mengisi kapasitas baterai tanpa memberikan lonjakan arus yang dapat merusak baterai. Saat proses mendekati penuh, reaksi kimia melambat (saturasi listrik), sehingga untuk tetap mempertahankan tegangan, arus masuk menurun secara alami [19].

4.4 Pengujian Fitur Pemutusan Pengisian Baterai Otomatis

Fitur utama dari sistem ini adalah kemampuan untuk menghentikan pengisian baterai secara otomatis melalui relay ketika terjadi kondisi *overheat* atau *overcharge*. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan, arus, dan suhu berlebih saat proses pengisian berlangsung. Relay akan aktif ketika:

1. Suhu baterai melebihi 40,00°C.
2. Tegangan dan arus melebihi 13,8 V dan 3,2 A pada baterai 12 V.
3. Tegangan dan arus melebihi 7,45 V dan 2,25 A pada baterai 6 V.

4.4.1 Pengujian Pemutusan Pengisian Baterai Ketika Suhu Berlebih

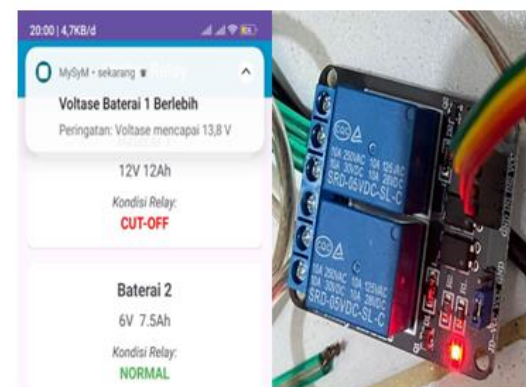
Pengujian pemutusan pengisian baterai suhu berlebih dilakukan dengan memanaskan sensor suhu menggunakan korek api hingga suhu melebihi 40,00°C, sehingga mengaktifkan relay dan memunculkan notifikasi peringatan suhu berlebih pada aplikasi seperti yang ada pada Gambar 6. Lalu, halaman status relay di aplikasi MySyM menunjukkan status relay sedang *high*.



Gambar 6. Pengujian Suhu Berlebih

4.4.2 Pengujian Pemutusan Pengisian Baterai Ketika Tegangan Berlebih

Pengujian pemutusan pengisian baterai tegangan berlebih dilakukan dengan mengisi baterai hingga melebihi batas *threshold* yang telah ditentukan sebelumnya. Ketika tegangan baterai telah melebihi batas *threshold*, aplikasi menampilkan notifikasi peringatan tegangan berlebih dan pada halaman status relay menampilkan status relay yang sedang *high* seperti yang ada pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian Tegangan Berlebih

4.4.3 Pengujian Pemutusan Pengisian Baterai Ketika Arus Berlebih

Pengujian pemutusan pengisian baterai ketika arus berlebih dilakukan dengan menaikkan arus ke baterai melalui *buck converter* hingga melebihi batas *threshold*. Ketika arus melebihi batas *threshold*, aplikasi menampilkan notifikasi peringatan tegangan berlebih dan pada halaman status relay menampilkan status relay yang sedang *high* seperti yang ada pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengujian Arus Berlebih

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem *monitoring* pengisian baterai berbasis IoT menggunakan ESP32, sensor INA219, sensor suhu DS18B20, dan modul relay telah berhasil dibangun dan diimplementasikan. Sensor-sensor mampu membaca parameter seperti tegangan, arus, dan suhu secara akurat. Aplikasi mobile MySyM yang dikembangkan dengan Android Studio juga berfungsi secara optimal sebagai antarmuka pengguna, serta kemampuannya dalam menampilkan data real-time, riwayat pengisian, autentikasi pengguna, dan notifikasi peringatan.

Integrasi sistem antara perangkat keras dan aplikasi melalui Firebase berjalan andal, di mana ESP32 mampu mengirimkan data secara konsisten ke Firebase Realtime Database. Sistem juga mendukung pencatatan data historis menggunakan Firebase *Functions* dan Firestore secara otomatis dan terstruktur. Fitur keamanan berupa pemutusan pengisian otomatis melalui relay terbukti efektif dalam mencegah *overheating* dan *overcharging*, dengan kontrol logika yang berhasil

merespons kondisi ekstrem secara sigap. Secara keseluruhan, sistem ini berhasil mencapai tujuannya dalam memberikan solusi *monitoring* yang aman, andal, dan memperpanjang usia pakai baterai SLA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fajrianingrum, F. N., Rakhmawati, R., & Prasetyono, E. 2022. *Design and Implementation MPPT-CPG for Constant Power Battery Charger*. JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering), Vol 6 No: 2. <https://doi.org/10.12962/jaree.v6i2.319>
- [2] Lindgren, J., & Lund, P. D. 2016. *Effect of extreme temperatures on battery charging and performance of electric vehicles*. Journal of Power Sources, Vol 328, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.07.038>
- [3] Ayuningsih, N. N. T., Partha, C. G. I., & Wijaya, I. W. A. 2024. Rancang Bangun Protoipe Sistem Monitoring ATS-AMF Dan Battery Charger Menggunakan Telegram di PERUMDA air minum Tirta Sanjiwani Unit Produksi Blangsinga. Jurnal SPEKTRUM Vol, 11 No:1.
- [4] Indrawan, D., & Dominite, A. (2020). Analisa *overheating* pada kompresor Sullair LS16-60/75/100. JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin, 1(1)
- [5] Juarez-Robles, D., Vyas, A. A., Fear, C., Jeevarajan, J. A., & Mukherjee, P. P. 2020. *Overcharge and aging analytics of Li-ion cells*. Journal of the Electrochemical Society, Vol. 167 No: 9, 090547.
- [6] Erwin, Datya, A. I., Nurohim, Sepriano, Waryono, Adhicandra, I., Budihartono, E., & Purnawati, N. W. 2023. Pengantar & Penerapan *Internet of Things*: Konsep Dasar & Penerapan IoT di Berbagai Sektor. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- [7] Siti Saodah and Pajar Ramdani. 2022, "Rancang Bangun Power Supply Dc Dengan Tiga Keluaran Berbasis Mikrokontroler," J. Tek. Energi, vol. 4, no. 1, pp. 287–292, 2020, doi:10.35313/energi.v4i1.1752.
- [8] Kitaronka, S. 2022. *Lead-acid Battery*. 768887 Bytes.
- [9] Naufal, A. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Aliran Dan Jumlah Air Pada

- Green House* Berbasis Esp 32. Jusikom: Jurnal Sistem Komputer Musirawas, 7(1)
- [10] Satya, T. P. 2024. *Analysis Of The Ina219 Sensor System And Voltage Divider On A Calibrate Multimeter*. Jurnal Fisika dan Aplikasinya, Vol: 20 No: 2.
- [11] Huda, M. B. R., & Kurniawan, W. D. 2022. Analisa Sistem Pengendalian Temperatur Menggunakan Sensor Ds18B20 Berbasis Mikrokontroler Arduino. Jurnal Rekayasa Mesin, Vol 7 No:02.
- [12] Rostini, A. N., & Junfithrana, A. P. (2020). Aplikasi *smart home node* mcu iot untuk blynk. Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra, 7(1)
- [13] Subagja, A. B., Ema, E., & Hendrarini, N. 2024. Perancangan Dan *Monitoring Modul Power Gps Tracker* Menggunakan Ic *Buck Converter*. *eProceedings of Applied Science*, Vol: 10 No:5.
- [14] Tyas, U. M., & Buckhari, A. A. (2023). Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital. TEKNOS: Jurnal Pendidikan dan Teknologi, 1(1)
- [15] Fikri, Imaduddin 2016. Aplikasi Navigasi Berbasis Perangkat Bergerak Dengan Menggunakan *Platform Wikitude* Untuk Studi Kasus Lingkungan ITS. Vol. 5, No. 1. Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [16] Sandy, L. A., Akbar, R. J., & Hariadi, R. R. 2017. Rancang Bangun Aplikasi *Chat* pada *Platform* Android dengan Media Input Berupa *Canvas* dan *Shareable Canvas* untuk Bekerja dalam Satu *Canvas* Secara Online. Jurnal Teknik ITS, Vol: 6 No:2.
- [17] Kosasih, D. P. 2018. Pengaruh variasi larutan *elektrolite* pada *accumulator* terhadap arus dan tegangan. Mesa (Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Sipil, Teknik Arsitektur), Vol:2 No:2.
- [18] Suryanto, A. A., & Muqtadir, A. (2019). Penerapan metode mean absolute error (MEA) dalam algoritma regresi linear untuk prediksi produksi padi. *Saintekbu*, Vol:11 No:1.
- [19] Chen, G. J., & Chung, W. H. 2023. *Evaluation of charging methods for lithium-ion batteries*. *Electronics*, Vol: 12 No: 19.