

Monitoring Sistem Baterai Aluminium-Udara

1st Leonardus Chirstopher Dago
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung,Indonesia

unitedarmypro@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Ekki Kurniawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung,Indonesia

ekkekurniawan@telkomuniversity.ac.id

3rd Wahmisari Priharti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung,Indonesia

wpriharti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Perancangan baterai aluminium diperlukan sistem yang membantu kinerja baterai lebih baik. Dalam penelitian ini, kami merancang sistem monitoring untuk baterai aluminium dengan mengembangkan sistem pemantauan dan tampilan data yang diintegrasikan ke dalam baterai aluminium dengan tujuan untuk memantau parameter penting dari baterai aluminium seperti tegangan, arus, dan daya secara real-time. Sistem ini menggunakan mikrokontroler dengan sensor, pompa, dan pemrosesan data untuk mendapatkan hasil yang optimal dan lebih efisien. Metode pengujian yang dilakukan yaitu, perancangan sistem pada baterai, diagram blok, sistem monitoring dan flowchart. Setelah dilakukan kalibrasi sensor tegangan didapatkan nilai rata-rata selisih adalah 0,01 V – 0,03 V sedangkan pada sensor arus didapatkan nilai rata-rata selisih adalah 0,01 V - 0,017 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring dapat memberikan informasi baterai berupa tegangan, arus, dan daya pada layar LCD. Layar LCD digunakan untuk menampilkan data informasi dari baterai aluminium udara, yang dilakukan setiap 1 detik. Sistem monitoring yang dilakukan dapat membantu memberikan informasi yang akurat dari baterai, sehingga memungkinkan pengelolaan energi yang lebih baik dan pencegahan terhadap potensi kerusakan. Oleh karena itu penerapan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kinerja dan masa pakai baterai aluminium.

Kata kunci— baterai aluminium, monitoring, sensor, mikrokontroler

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu jenis energi yang dihasilkan oleh aliran elektron. Energi ini dimanfaatkan dalam berbagai aspek kehidupan manusia, seperti untuk penerangan, pengaturan suhu ruangan (pemanasan atau pendinginan), serta menyediakan daya bagi perangkat elektronik seperti televisi dan komputer. Listrik merupakan bentuk energi yang diatur dan diterapkan untuk menghasilkan panas, cahaya, serta daya mekanis[1]. Baterai aluminium telah menarik banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir sebagai alternatif penyimpanan energi yang lebih aman, ramah lingkungan, dan potensial[2]. Bahan dari baterai yang umum digunakan di masyarakat merupakan lithium[3], dimana bahan lithium merupakan

bahan yang sulit ditemukan di Indonesia[4]. Namun kebanyakan bahan lithium di Indonesia sulit ditemukan dan memiliki harga yang relatif tinggi jika diproduksi secara massal[4]. Dibandingkan dengan baterai lithium-ion yang banyak digunakan, baterai aluminium memiliki keunggulan dalam hal biaya bahan baku yang lebih rendah, keamanan yang lebih tinggi, dan ketersediaan bahan yang lebih tinggi[5]. Selain itu, pemanfaatan energi terbarukan seperti sel surya telah terbukti efektif dalam mendukung berbagai aplikasi, termasuk proses elektrolisis. Studi menunjukkan bahwa sumber daya yang menggunakan sel surya mampu menyediakan energi yang memadai untuk proses elektrolisis, menghasilkan air alkali dengan tingkat pH yang sesuai, serta menunjukkan potensi signifikan dalam meningkatkan efisiensi sistem elektrokimia[6].

Baterai memiliki berbagai jenis, ukuran, dan kapasitas tergantung pada bahan, desain, dan aplikasinya. Salah satu jenis baterai yang sedang dikembangkan adalah baterai udara. Baterai udara adalah jenis baterai yang menggunakan udara sebagai sumber oksigen untuk reaksi pada katoda[7]. Baterai udara memiliki keunggulan berupa energi spesifik yang lebih tinggi daripada baterai konvensional, karena tidak perlu menyimpan oksigen di dalam baterai. Baterai udara juga dianggap menjanjikan karena tidak menghasilkan limbah berbahaya dan dapat didaur ulang [8]. Beberapa contoh baterai udara adalah baterai lithium-udara, baterai aluminium-udara, dan baterai silikon-udara[9].

Baterai udara, bagaimanapun, menghadapi sejumlah masalah; salah satunya adalah daya keluaran yang terlalu kecil dan tidak stabil. Ada sejumlah variabel yang mempengaruhi daya keluaran baterai, termasuk resistansi internal baterai, suhu operasi, kondisi lingkungan, dan metode pengisian baterai[10]. Baterai udara memiliki resistansi internal yang lebih tinggi daripada baterai biasa karena difusi oksigen dari udara ke elektrolit[11]. Selain itu, baterai udara rentan terhadap perubahan suhu dan kelembaban udara, yang berdampak pada kinerja dan stabilitasnya[12].

Pemantauan sistem baterai aluminium melibatkan pengukuran dan analisis sebagai parameter penting seperti tegangan, arus, dan daya. Pengukuran tegangan yang akurat memberikan informasi penting tentang kesehatan baterai dan kemungkinan kegagalannya. Sedangkan arus, di sisi

lain, mengacu pada aliran energi masuk dan keluar dari baterai. Pengaturan arus yang tepat sangat penting untuk menghindari kerusakan akibat kelebihan atau kekurangan arus yang dapat mempengaruhi masa pakai baterai[13]. Daya, hasil kali tegangan dan arus, memberikan gambaran komprehensif tentang efisiensi konversi energi baterai dan kinerja keseluruhan[14]. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang dapat memantau dan menganalisis ketiga parameter tersebut secara akurat pada layar penampil. Sistem pemantauan yang efektif tidak hanya menjaga kinerja baterai tetap optimal, namun juga memperpanjang masa pakai dari baterai itu sendiri. Sistem monitoring ini dibuat sedemikian untuk mempermudah pengguna, dan dengan teknologi tinggi sistem monitoring ini dapat digunakan dengan mudah dan dengan penggunaan yang mudah, baterai aluminium dapat diandalkan sebagai salah satu sumber energi listrik yang baik.

Dalam pengembangan teknologi, pemilihan jenis baterai yang tepat menjadi faktor krusial karena baterai merupakan komponen utama yang menentukan kinerja dan efisiensi keseluruhan sistem. Berbagai jenis baterai seperti lead-acid dan lithium-ion digunakan pada mobil listrik, di mana setiap jenis baterai memiliki karakteristik yang berbeda dan memengaruhi kinerja mobil listrik; oleh karena itu, diperlukan pengendalian dan pemantauan yang akurat terhadap parameter-parameter penting seperti tegangan, arus, suhu, berat jenis, dan resistivitas baterai untuk memastikan kapasitas baterai optimal, sehingga manajemen baterai yang tepat dapat meningkatkan efisiensi kendaraan listrik[15].

Dalam jurnal kali ini, dilakukan monitoring terhadap keluaran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh baterai aluminium-udara. Dengan menggunakan panel surya sebagai komponen tambahan dalam penyimpanan daya yang dihasilkan oleh baterai aluminium-udara. Monitoring daya keluaran dari baterai aluminium udara sangat penting untuk memastikan kinerja dan efisiensi baterai tersebut. Dengan melakukan monitoring kita dapat memantau tingkat tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh baterai. Informasi yang diperoleh dari monitoring ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan baterai, mendiagnosis masalah yang mungkin terjadi, serta meningkatkan efisiensi operasionalnya.

II. KAJIAN TEORI

Pada penelitian ini berisikan tentang kebutuhan produk yang dimana dapat memonitoring dan menampilkan sejumlah informasi mengenai baterai aluminium pada layar LCD. Spesifikasi yang terdapat pada bagian ini adalah betarai aluminium memiliki fitur untuk menampilkan informasi mengenai hasil keluaran dari baterai aluminium seperti jumlah tegangan, arus, dan daya. Sehingga dengan adanya tampilan data informasi baterai, pelanggan dapat dengan mudah mengetahui kestabilan energi listrik yang tersimpan pada baterai juga guna mengetahui informasi mengenai kondisi tegangan, arus dan daya pada baterai aluminium.

A. Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P yang populer karena kesederhanaannya dan cocok untuk berbagai proyek elektronik dan pengembangan sistem tertanam. Papan ini memiliki 14 pin I/O digital, 6 pin input analog, flash memory 32 KB, SRAM 2 KB, dan kecepatan clock 16 MHz. Arduino Uno diprogram menggunakan bahasa pemrograman yang mirip C++ melalui Arduino IDE. Papan ini digunakan untuk prototipe elektronik, otomasi rumah, dan proyek pendidikan. Keunggulannya termasuk komunitas besar, ketersediaan shields dan modul, serta kemudahan penggunaan bagi pemula maupun ahli[16].



GAMBAR 1
Arduino Uno

B. Sensor

1. Voltage Sensor 0-25V

Sensor tegangan 0-25V adalah modul yang digunakan untuk mengukur tegangan DC dalam rentang 0 hingga 25 volt, sering digunakan dalam monitoring baterai, sistem tenaga surya, dan proyek mikrokontroler seperti Arduino. Sensor ini bekerja dengan prinsip pembagi tegangan, menggunakan dua resistor untuk mengurangi tegangan input menjadi 0-5V, yang dapat dibaca oleh pin analog mikrokontroler. Keunggulannya meliputi kemudahan integrasi dengan mikrokontroler, akurasi memadai, dan rentang pengukuran yang luas untuk berbagai aplikasi pemantauan tegangan[17].



GAMBAR 2
Voltage sensor 0-25V

2. ACS712 Current Sensor

Sensor arus ACS712 digunakan untuk mendeteksi arus. Sensor ini memiliki beberapa variasi tipe, termasuk yang mampu mengukur arus maksimal sebesar 5A, 20A, dan 30A. ACS712 bekerja dengan menggunakan tegangan VCC sebesar 5V. Prinsip kerja sensor ini adalah mengukur arus yang mengalir melalui kabel tembaga. Arus ini menghasilkan medan magnet yang kemudian dideteksi oleh integrated Hall IC dan diubah menjadi tegangan

proporsional. Ketelitian pembacaan sensor dapat dioptimalkan dengan memasang komponen secara dekat antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dan hall transducer[18].



GAMBAR 3
Sensor Arus ACS712

C. LCD I2C

LCD I2C adalah modul tampilan LCD yang menggunakan antarmuka I2C (Inter-Integrated Circuit) untuk mempermudah integrasi dengan mikrokontroler seperti Arduino dan Raspberry Pi. Dengan hanya menggunakan dua pin data (SDA dan SCL), LCD I2C menghemat penggunaan pin I/O dibandingkan dengan LCD konvensional. Modul ini biasanya menggunakan chip seperti PCF8574 untuk mengubah sinyal I2C menjadi sinyal paralel bagi LCD standar. LCD I2C banyak digunakan dalam proyek mikrokontroler, sistem embedded, otomasi rumah, dan aplikasi robotika karena kemudahannya dalam pemasangan dan penggunaan, serta pengaturan kontras yang fleksibel[19].



GAMBAR 4
LCD I2C

D. Power Eksternal

LCD I2C Untuk menyalakan sistem monitoring pada baterai aluminium, sumber energi yang digunakan yaitu berupa baterai eksternal berjenis Lithium Ion 18650 dengan kapasitas tegangan 3,7 V dan digunakan sebanyak 4 buah baterai yang digabungkan.



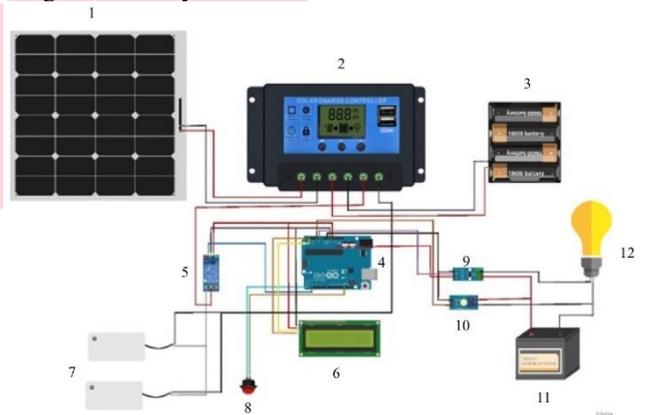
GAMBAR 5
Baterai Li-Ion 18650

III. METODE

Penelitian ini adalah riset yang menggunakan beberapa konsep solusi, dengan perancangan sistem, diagram blok, cara kerja sistem, serta pengujian/kalibrasi sensor.

A. Perancangan sistem

Perancangan sistem pada monitoring baterai aluminium udara sangat penting, skematik rangkaian dibuat menggunakan *software* fritzing. Rangkaian sistem monitoring baterai dibuat sedemikian rupa untuk mengetahui wiring yang tepat dan program dapat berjalan dengan semestinya



GAMBAR 6
Skematik sistem monitoring

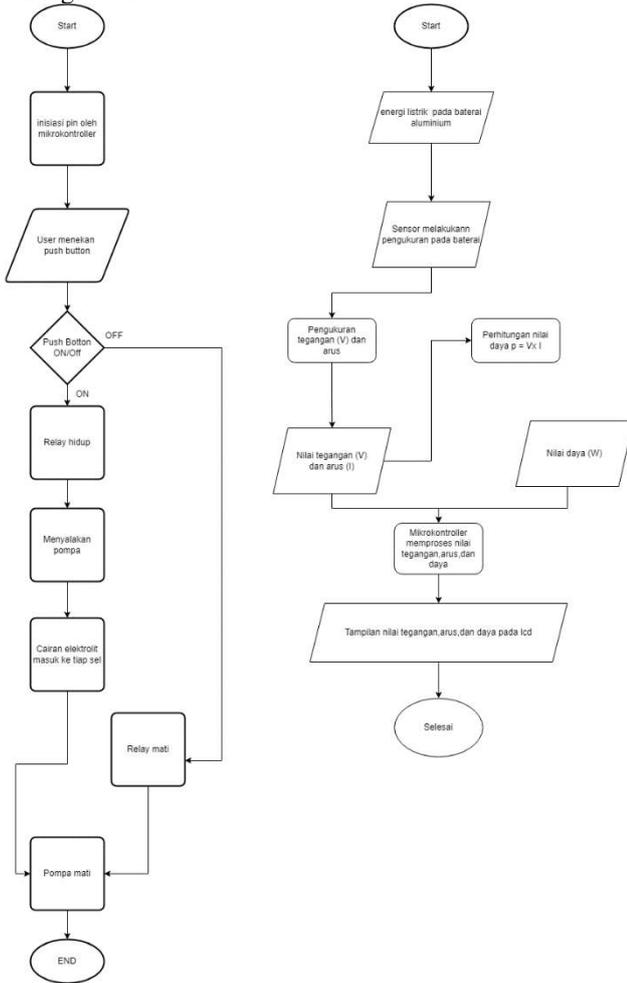
Keterangan :

1. Panel Surya
2. Solar Charge Controller
3. Penyimpan Energi Surya
4. Arduino UNO
5. Relay
6. LCD I2C
7. Pompa DC
8. Push Button
9. Sensor Arus
10. Sensor Tegangan
11. Baterai Aluminium Udara
12. Lampu 12V 15W

Pada perancangan skematik monitoring sistem baterai aluminium menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai unit proses, dan sebagai alat pengukuran parameter baterai digunakan sensor arus ACS712 5A, dan Voltage sensor 0-25 V sebagai sensor tegangan, LCD I2C digunakan untuk menampilkan informasi dari baterai aluminium udara dan Sumber listrik untuk menjalankan sistem menggunakan Baterai Li-Ion 3,7 V sebanyak 4 buah baterai yang digabungkan. Pada rangkaian ini seluruh komponen diolah pada mikrokontroler, dimana masing-masing komponen disambung secara seri dan paralel, data yang dihasilkan pun diolah pada mikrokontroler. Komponen lain yang terdapat pada skematik merupakan komponen sub-sistem untuk membantu kerja baterai

aluminium udara, seperti Panel Surya, SCC, Pompa DC, dan Push Button.

B. Diagram Blok



GAMBAR 7 Diagram Blok Sistem Baterai

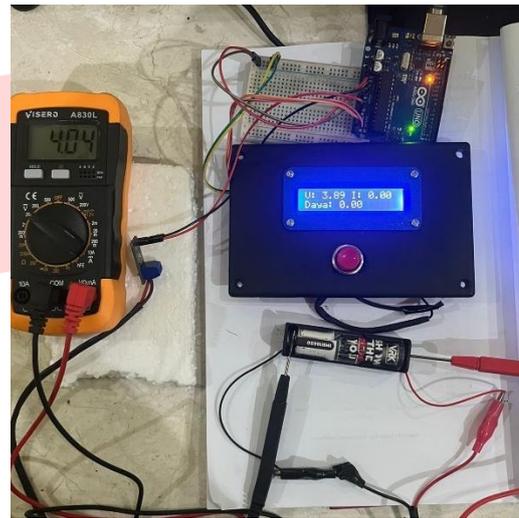
Sistem pada baterai aluminium udara memiliki output yaitu menghasilkan energi listrik dan menampilkan informasi data mengenai baterai seperti, tegangan (V), arus (I), dan daya (W). Energi listrik yang tersimpan pada baterai terukur oleh sensor agar bisa menghasilkan output berupa nilai data dari tegangan dalam satuan Volt dan arus dalam satuan Ampere. Pada diagram blok keseluruhan sistem baterai dan menampilkan data informasi di proses oleh mikrokontroler dengan menampilkan tegangan, arus, dan daya. Data yang dihasilkan oleh sensor nantinya akan diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada display.

Sistem pada monitoring baterai aluminium udara mencakup pembacaan tegangan dan arus yang dihasilkan dari baterai aluminium, pembacaan tegangan dan arus menggunakan sensor tegangan 0-25 V dan sensor arus ACS 712 5A. Data hasil pengukuran tegangan dan arus oleh sensor akan diolah pada mikrokontroler, untuk menghitung daya yang dihasilkan mikrokontroler akan menghitung hasil perhitungan dari nilai tegangan dan nilai arus. Ketiga data tersebut (tegangan, arus, dan daya) kemudian ditampilkan pada display yang berupa layar LCD.

C. Kalibrasi

1. Kalibrasi Sensor Tegangan

Kalibrasi sensor tegangan dengan kapasitas 0-25 V menggunakan alat acuan berupa multimeter. Bahan yang digunakan untuk mengukur tegangan adalah baterai yang diukur juga menggunakan multimeter sebagai pembanding. Pengukuran menggunakan sensor tegangan dengan kapasitas 0-25 V dan baterai Li-Ion 3,7 V, hasil data dari pengukuran sensor akan dibandingkan dengan hasil pengukuran melalui multimeter. Setelah mengumpulkan data analisis hasil data dan kalibrasi sensor melalui source code pada mikrokontroler.

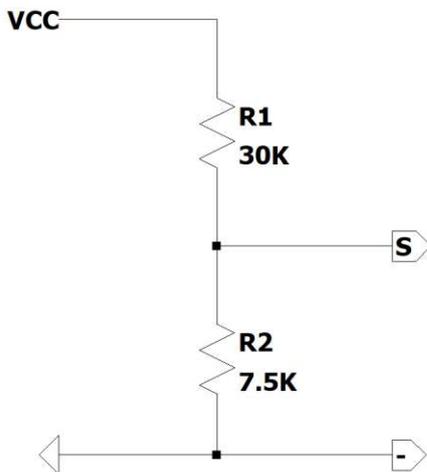


GAMBAR 8 Pengujian Sensor Tegangan

TABEL 1 Hasil Pengambilan Data Sebelum Kalibrasi

Waktu (s)	Multimeter (V)	Sensor (V)	Selisih(V)
10	4,04	3,89	0,15
20	4,04	3,89	0,15
30	4,04	3,89	0,15
40	4,04	3,89	0,15
50	4,04	3,86	0,18
60	4,04	3,89	0,15
70	4,04	3,86	0,18
80	4,04	3,89	0,15
90	4,04	3,89	0,15
100	4,04	3,86	0,18
110	4,04	3,89	0,15
120	4,04	3,86	0,18
130	4,04	3,86	0,18
140	4,04	3,89	0,15
150	4,04	3,91	0,13
160	4,04	3,89	0,15
170	4,04	3,86	0,18
180	4,04	3,89	0,15
190	4,04	3,89	0,15
200	4,04	3,89	0,15

Setelah dilakukan pengukuran menggunakan baterai 4 V dan pengukuran pada multimeter sebanyak 20 data dengan jangka waktu pengukuran 10 detik didapat rata-rata selisih 0,15 V – 0,18 V, dimana tegangan yang dibaca oleh sensor lebih rendah. Hasil tersebut akan dilakukan kalibrasi menyesuaikan nilai pembagi tegangan yang dimiliki oleh sensor tegangan.



GAMBAR 9
Skematik Rangkaian Sensor Tegangan

Gambar 9 merupakan pembagi tegangan yang dimiliki sensor tegangan, terdiri dari $R1 = 30\text{ K}$ dan $R2 = 7,5\text{ K}$. Data tersebut digunakan pada *source code* untuk menghitung nilai tegangan yang dihasilkan.

TABEL 2
Hasil Data setelah Kalibrasi

Waktu (s)	Multimeter (V)	Sensor (V)	Selisih(V)
10	4,03	4,04	0,01
20	4,03	4,04	0,01
30	4,04	4,04	0,00
40	4,03	4,01	0,02
50	4,03	4,04	0,01
60	4,03	4,04	0,01
70	4,03	4,06	0,03
80	4,03	4,01	0,02
90	4,04	4,04	0,00
100	4,03	4,04	0,01
110	4,03	4,06	0,03
120	4,03	4,06	0,03
130	4,04	4,04	0,00
140	4,03	4,04	0,02
150	4,03	4,01	0,02
160	4,03	4,04	0,01
170	4,03	4,04	0,01
180	4,03	4,06	0,03
190	4,04	4,06	0,02

200	4,03	4,04	0,01
-----	------	------	------

Pada tabel kalibrasi tegangan antara Arduino dan Multimeter, data yang menunjukkan hasil pengukuran dari sensor sebesar 4,04 V- 4,06 V, sedangkan data dari multimeter sekitar 4,03 V – 4,04 V. Dari perbandingan data tersebut menunjukkan selisih sebesar 0,01 V – 0,03 V, sensor tegangan memiliki nilai yang lebih tinggi tetapi sudah mendekati nilai multimeter. Selisih yang lebih kecil didapatkan dengan melakukan perhitungan melalui *source code* dengan mengetahui nilai pembagi tegangan dari sensor.



GAMBAR 10
Nilai Tiap Resistor dari Sensor Tegangan

Nilai pembagi tegangan yang terdapat pada sensor adalah sebesar 7,18 K dan 29,1 K, dengan memasukkan nilai pembagi tegangan diatas ke dalam *source code* maka akan mengubah nilai dari sensor tegangan menjadi lebih akurat. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa sensor tegangan cukup akurat dalam mengukur tegangan, meskipun terdapat sedikit perbedaan pada beberapa faktor kalibrasi.

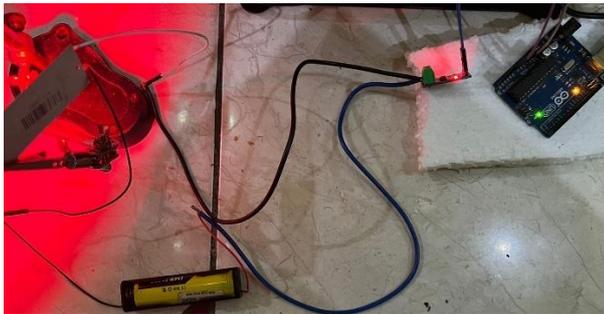
Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 20 data dengan menggunakan baterai 4 V dan jeda pengukuran 10 detik, serta melakukan kalibrasi dengan melihat nilai pembagi tegangan yang terdapat pada sensor tegangan, didapatkan selisih yang semakin kecil sekitar 0,01 V - 0,03 V, dimana sangat mendekati nilai tegangan yang didapatkan dari multimeter. Maka hasil dari kalibrasi sensor tegangan dapat menampilkan hasil yang lebih akurat, dengan menyesuaikan pembagi tegangan yang terdapat dalam sensor tegangan dan memasukkan nilai pembagi tegangan pada perhitungan *source code*, yaitu nilai sumber tegangan Arduino dibagi dengan nilai pembagi tegangan.

Secara keseluruhan, pendataan ini menunjukkan bahwa kalibrasi adalah langkah penting untuk memastikan bahwa pengukuran tegangan oleh Arduino akurat dan dapat diandalkan. Sebelum kalibrasi, terdapat penyimpangan yang lebih besar, tetapi setelah kalibrasi, pengukuran menjadi lebih akurat dan konsisten dengan hasil yang diukur oleh multimeter.

2. Kalibrasi Sensor Arus

Pengujian dan kalibrasi sensor arus ACS 712 dengan kapasitas 5 A dan menggunakan multimeter sebagai alat acuan, beban yang dipakai berupa lampu DC 4 V 6 W. Pengambilan data antara sensor dan multimeter dilakukan sebanyak 20 kali percobaan. Hasil dari pengukuran sensor dan multimeter akan dianalisis, dan kalibrasi data sensor

dilakukan dengan menyesuaikan nilai sumber tegangan dari sensor arus yang akan diubah pada source code menyesuaikan nilai asli dari sensor arus yang digunakan pada mikrokontroler Arduino Uno.



GAMBAR 11
Pengkalibrasian Sensor Arus

TABEL 3
Hasil Data Sebelum Kalibrasi Sensor Arus

Waktu (s)	Multimeter (A)	Sensor (A)	Selisih(A)
10	1,11	1,73	0,62
20	1,11	1,78	0,67
30	1,11	1,76	0,65
40	1,11	1,65	0,54
50	1,11	1,73	0,62
60	1,11	1,73	0,62
70	1,11	1,65	0,54
80	1,11	1,57	0,46
90	1,11	1,65	0,54
100	1,11	1,73	0,62
110	1,11	1,55	0,44
120	1,11	1,70	0,59
130	1,11	1,62	0,51
140	1,11	1,59	0,48
150	1,11	1,70	0,59
160	1,11	1,65	0,54
170	1,11	1,68	0,57
180	1,11	1,60	0,49
190	1,11	1,65	0,54
200	1,11	1,60	0,49

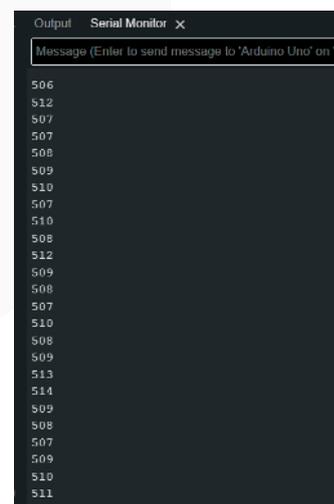
Setelah dilakukan pengukuran menggunakan baterai 4V dan pengukuran menggunakan multimeter, didapat nilai dari pembacaan sensor arus sekitar 1,59 A - 1,78 A yang dimana nilai tersebut cukup tinggi dari nilai yang ditampilkan oleh multimeter, dengan selisih nilai antara sensor dan multimeter sekitar 0,44 A – 0,67 A. Nilai yang didapat masih cukup tinggi sehingga sensor arus tidak dapat menampilkan informasi hasil pengukuran arus yang akurat.

TABEL 4
Hasil Data Setelah Kalibrasi Sensor Arus

Waktu (s)	Multimeter (A)	Sensor (A)	Selisih(A)
10	1,10	1,11	0,01
20	1,10	1,14	0,04
30	1,10	1,08	0,02
40	1,10	1,16	0,06

50	1,10	1,19	0,09
60	1,10	1,14	0,04
70	1,10	1,14	0,04
80	1,10	1,24	0,14
90	1,10	1,11	0,01
100	1,10	1,06	0,06
110	1,10	1,19	0,09
120	1,10	1,22	0,12
130	1,10	1,16	0,06
140	1,10	1,22	0,12
150	1,10	1,06	0,04
160	1,10	1,03	0,07
170	1,10	1,27	0,17
180	1,10	1,16	0,06
190	1,10	1,06	0,04
200	1,10	1,03	0,07

Pada pengukuran kedua sensor arus sudah dilakukan kalibrasi, kalibrasi yang dilakukan dengan menyesuaikan nilai sumber tegangan yang berada pada sensor arus dari Arduino dan dihitung pada *source code* yang sudah ada. Dengan menyesuaikan nilai sumber tegangan pada sensor, maka nilai data yang diperoleh akan semakin akurat. Dari data yang telah diambil, nilai dari sensor arus sudah mendekati nilai perolehan dari multimeter, dengan selisih yang semakin kecil yaitu sekitar 0,01 A – 0,17 A. Dibandingkan dengan pengujian pertama, perolehan nilai sensor yang sudah di kalibrasi semakin akurat, maka sensor dapat menampilkan hasil pengukuran arus baterai yang lebih akurat



GAMBAR 12
Tampilan Serial Monitor Nilai Sumber Tegangan Sensor Arus

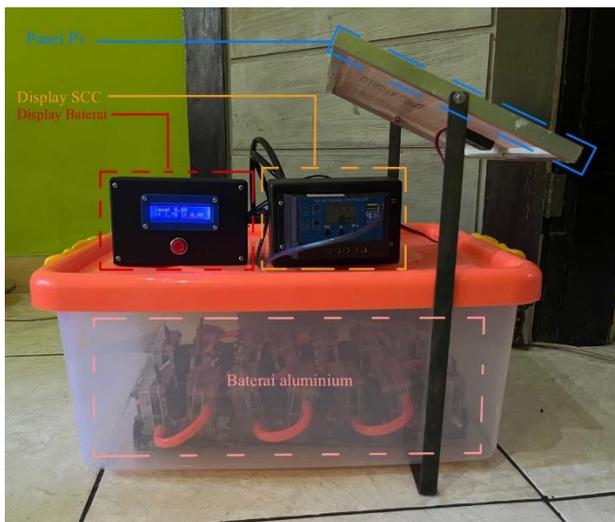
Nilai tegangan yang dimiliki Arduino sesuai dengan datasheet adalah 5 V, dengan melakukan penyesuaian nilai Arduino yang terhubung pada sensor arus maka akan mengubah perhitungan pada source code, nilai yang diperoleh dari pendataan diatas adalah sekitar 5,12 V dan menghasilkan nilai keluaran sensor arus yang lebih akurat.

Pengukuran sensor arus menggunakan lampu led 4 V 6 W, pengambilan data pengukuran pada lampu dilakukan sebanyak 20 kali dengan jeda waktu 10 detik setiap data menggunakan pencatu daya berupa baterai 4 V dan dilakukan kalibrasi sebanyak 1 kali. Nilai selisih yang diperoleh sebelum dikalibrasi sekitar 0,44 A-0,67 A, sedangkan nilai selisih yang diperoleh sensor setelah dikalibrasi sekitar 0,01 A-0,17 A.

Kalibrasi sensor arus dilakukan dengan menyesuaikan nilai tegangan sumber sensor arus dari Arduino, nilai sumber tegangan yang dimiliki Arduino adalah 5 V dan Ketika dilihat menggunakan *source code* pada serial monitor nilai yang dimiliki sensor arus sekitar 5,12 V. Dari nilai tersebut dapat disesuaikan dengan perhitungan pada *source code* yaitu mengubah nilai dari sumber tegangan menjadi 5,12 V. Kalibrasi yang dilakukan dapat menampilkan informasi sensor arus yang lebih akurat dan dapat ditampilkan pada display yang berupa LCD.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil akhir dari sistem monitoring baterai aluminium udara, dilakukan beberapa pengujian pada keseluruhan baterai. Setelah penggabungan keseluruhan sistem baterai yang terdiri dari 14 sel baterai yang disambung secara seri. Berikut adalah hasil dari keseluruhan sistem baterai.



GAMBAR 13 keseluruhan sistem baterai

Gambar 13 diatas merupakan keseluruhan keseluruhan sistem baterai aluminium udara. Terdiri dari baterai aluminium udara, display informasi, Panel surya, dan SCC. Setelah seluruh komponen dipersiapkan dan digabungkan, masuk pada tahap pengujian keseluruhan baterai.



GAMBAR 14 Baterai Menyalakan Lampu

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban berupa lampu 12 V 15 W, baterai dapat menampilkan data berupa tegangan, arus, dan daya. Penampilan informasi baterai dilakukan dengan pembacaan nilai tegangan dan arus yang dihubungkan ke baterai aluminium udara. Selain pemasangan sensor pada baterai, mikrokontroler dapat dinyalakan menggunakan SCC yang sudah terhubung. Dengan bantuan SCC dan integrasi menggunakan panel surya maka pembacaan arus pada baterai dapat dipermudah. Data dari hasil pengukuran kedua sensor akan diolah pada mikrokontroler dan menampilkan data informasi melalui *display LCD*. Data yang ditampilkan adalah tegangan dan arus, daya yang dihasilkan dan ditampilkan pada display dihasilkan melalui perkalian antara tegangan dan arus yang sudah diatur pada *source code*.



GAMBAR 15 Rangkaian Monitoring Baterai

TABEL 5 P erbandingan Tampilan Display Dengan Multimeter

Pengujian	Tegangan		Arus	
	Multimeter	Display LCD	Multimeter	Display LCD
1	14,59	14,57	10,32	10,30
2	14,78	14,77	10,10	10,10
3	14,44	14,45	10,04	10,02
4	14,68	14,65	10,21	10,20
5	14,97	14,95	10,16	10,18
6	15,11	15,13	10,38	10,35
7	15,02	15,00	10,23	10,22
8	14,89	14,90	10,15	10,17
9	14,70	14,89	10,11	10,11
10	14,63	14,62	10,28	10,26

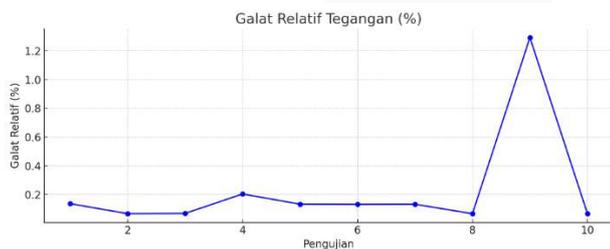
Tabel 5 adalah hasil pengujian perbandingan antara tegangan dan arus yang ditampilkan oleh multimeter dengan yang ditampilkan oleh display LCD dalam sepuluh percobaan. Tabel ini memberikan nilai tegangan dan arus yang diukur menggunakan dua alat berbeda, yaitu multimeter dan display LCD, untuk memeriksa akurasi display LCD dibandingkan dengan multimeter sebagai acuan.

Melalui perbandingan antara nilai yang ditampilkan dari multimeter dan display terdapat nilai galat yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

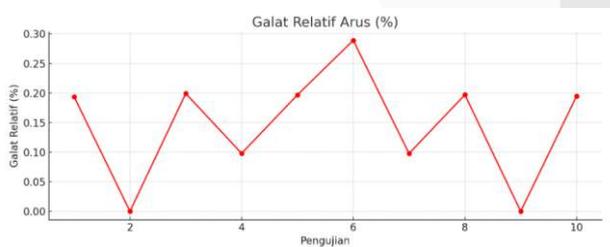
$$\text{Galat} = \left(\frac{|\text{Nilai Multimeter} - \text{Nilai Display LCD}|}{\text{Nilai Multimeter}} \right) \times 100\%$$

TABEL 6
Nilai Galat Tegangan dan Arus

Galat Tegangan (%)	Galat Arus (%)
0,137080	0,193798
0,067659	0
0,069252	0,199203
0,204360	0,097943
0,133601	0,196850
0,132363	0,289017
0,133156	0,097752
0,067159	0,197044
1,292517	0
0,068353	0,194553



GAMBAR 16
Grafik Nilai Galat



GAMBAR 17
Grafik Galat Arus

Grafik yang dihasilkan menunjukkan analisis galat relatif antara pengukuran tegangan dan arus yang dilakukan menggunakan display LCD dibandingkan dengan multimeter sebagai alat referensi. Galat relatif tegangan berkisar antara 0,067% hingga 1,292%, sementara galat relatif arus berada dalam rentang 0% hingga 0,289%. Grafik tegangan menunjukkan bahwa pada sebagian besar pengujian, galat relatif berada di bawah 0,2%, kecuali pada

pengujian ke-9 di mana terjadi peningkatan signifikan hingga 1,292%. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum, display LCD memiliki akurasi yang cukup baik dalam menampilkan tegangan, namun ada kondisi tertentu yang menyebabkan penyimpangan lebih besar.

Pada grafik galat relatif arus, mayoritas pengukuran menunjukkan galat di bawah 0,2%, dengan pengecualian pada pengujian ke-6 yang mencapai 0,289%. Pada dua pengujian, yaitu pengujian ke-2 dan ke-9, galat arus menunjukkan nilai 0%, yang berarti tidak ada perbedaan antara nilai yang ditampilkan oleh display LCD dan multimeter. Nilai galat yang rendah ini menunjukkan bahwa display LCD cukup andal dalam mengukur arus, dengan perbedaan yang tidak signifikan dibandingkan multimeter.

Secara keseluruhan, galat yang rendah baik pada pengukuran tegangan maupun arus menunjukkan bahwa display LCD memiliki tingkat akurasi yang baik dan dapat digunakan sebagai alternatif multimeter untuk pengukuran listrik dalam kondisi normal. Namun, peningkatan galat yang terjadi pada pengujian tertentu mengindikasikan perlunya perhatian khusus terhadap faktor-faktor yang dapat mempengaruhi keakuratan pengukuran, seperti kondisi lingkungan atau kalibrasi alat. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor ini dan mengoptimalkan performa display LCD dalam berbagai kondisi pengukuran.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sebuah sistem monitoring untuk baterai aluminium-udara dan mampu memantau parameter penting yang sudah ditentukan yaitu tegangan, arus, dan daya secara real-time. Sistem ini menggunakan beberapa komponen penting yaitu mikrokontroler Arduino Uno, sensor tegangan 0-25V dan sensor arus ACS712 5A, serta dilengkapi dengan display LCD I2C untuk menampilkan data informasi baterai. Baterai aluminium-udara dapat menghasilkan tegangan mencapai 14 V yang dihubungkan secara seri sebanyak 14 sel baterai. Pengujian dan kalibrasi sensor (tegangan dan arus) menunjukkan bahwa hasil pengukuran setelah kalibrasi lebih akurat dan mendekati nilai referensi yang diukur menggunakan multimeter. Dengan sistem monitoring yang lebih baik, data tegangan, arus, dan daya baterai dapat diakses dengan lebih mudah dan akurat, sehingga memungkinkan pengelolaan energi yang lebih efisien dan pencegahan kerusakan baterai. Selain itu, integrasi panel surya sebagai sumber energi tambahan dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem secara keseluruhan. Penerapan sistem monitoring ini diharapkan dapat meningkatkan masa pakai dan kinerja baterai aluminium-udara, serta menjadikannya sebagai solusi alternatif yang lebih potensial dalam penyimpanan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

REFERENSI

- [1] H. Siti, Mohamad, and Ramdhani, "6th Asian Academic Society International Conferenc (AASIC) A Transformative Community: Asia in Dynamism, Innovation, and Globalization IMPLEMENTATION OF POWER PLANT USING SALT WATER AS ELECTROLYTE," 2018.
- [2] M. S. Boedoyo, "POTENSI DAN PERANAN PLTS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MASA DEPAN DI INDONESIA," *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, vol. 14, no. 2, Jun. 2013, doi: 10.29122/jsti.v14i2.919.
- [3] <https://wuling.id/id/blog/autotips/6-jenisbaterai-mobil-listrik-cara-perawatannya>, "Baterai Mobil Listrik: Jenis, Kapasitas, hingga Harga | Wuling.," : <https://wuling.id/id/blog/autotips/6-jenisbaterai-mobil-listrik-cara-perawatannya>.
- [4] Matt Ferrell, "Can This Metal Really Beat the Lithium Battery?," UNDECIDED.
- [5] A. Umar *et al.*, "Perforated Co3O4 nanosheets as high-performing supercapacitor material," *Electrochim Acta*, vol. 389, p. 138661, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.electacta.2021.138661.
- [6] A. Fauziah, E. Kurniawan, M. Ramdhani, T. Elektro, F. Teknik Elektro, and U. Telkom, "SISTEM CATU DAYA PENGHASIL AIR ALKALI DENGAN MODUL SOLAR CELL ALKALINE WATER SUPPLY POWER SYSTEM WITH SOLAR CELL MODULE."
- [7] Respati Sri Mulyo Bondan, Taufiq Muhammad, and Nugroho Agung, "BATERAI ALUMINIUM UDARA DENGAN BAHAN DASAR ZEOLIT ALAM YANG DIPANASKAN SEBAGAI ELEKTRODA," *BATERAI ALUMINIUM UDARA DENGAN BAHAN DASAR ZEOLIT ALAM YANG DIPANASKAN SEBAGAI ELEKTRODA*, vol. 18, pp. 74–79, Apr. 2022.
- [8] B. Mardwianta, "PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK PADA BATERAI UDARA DENGAN BAHAN KARBON AKTIF DAN ELEKTROLIT AIR LAUT," *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 3, Dec. 2017, doi: 10.28989/senatik.v3i0.123.
- [9] I. Maulana and A. Chobir, "STUDI ELEKTROKIMIA BATERAI ALUMINIUM-UDARA DENGAN SILIKA XEROGEL SEBAGAI BAHAN ELEKTRODA," 2019.
- [10] P. Negeri Cilacap, S. Analisis Rugi-rugi Baterai Tipe Alumunium Udara pada Beban Listrik Statis Hasyir Ahmad Munadi, and N. Hiron, "E-JOINT (Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology)," 2021.
- [11] D. Linda Kartika, "ELECTROCATALYST PERFORMANCE FOR OXYGEN REDUCTION REACTION OF MAGNETITE NANOPARTICLE-BASED AS METAL-AIR BATTERY CATHODE."
- [12] C. Revano Mege, S. Eka Marsha Putra, and S. G Siregar, "Prediksi Temperatur Pengosongan Baterai Lithium Menggunakan Metode Autoregressive Integrated Moving Average," *Journal Of Social Science Research*, vol. 3, pp. 10415–10425, 2023.
- [13] M. S. H. Lipu *et al.*, "Artificial Intelligence Approaches for Advanced Battery Management System in Electric Vehicle Applications: A Statistical Analysis towards Future Research Opportunities," *Vehicles*, vol. 6, no. 1, pp. 22–70, Dec. 2023, doi: 10.3390/vehicles6010002.
- [14] K. Liu, Y. Wang, and X. Lai, "Green Energy and Technology Data Science-Based Full-Lifespan Management of Lithium-Ion Battery Manufacturing, Operation and Reutilization.," in *Green Energy and Technology*, 8059th ed., springer.
- [15] B. Segara Putra, A. Rusdinar, and E. Kurniawan, "DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING DAN MANAJEMEN BATERAI MOBIL LISTRIK DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ELECTRIC CAR BATTERY MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM."
- [16] M. Banzi and M. Shiloh, "Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform," *Maker Media, Inc*, 2015.
- [17] S. Monk, "Programming Arduino: Getting Started with Sketches," *McGraw-Hill Education*, 2017.
- [18] W. Arsa, S. Politeknik, N. Denpasar, A. Surya, and A. Politeknik, "Analisis Sensor Arus Invasive ACS712 dan Sensor Arus Non Invasive SCT013 Berbasis Arduino," 2021.
- [19] M. McRoberts, "Beginning Arduino.," *Apress.*, 2013.