

Integrasi Modul Sel Surya Pada Baterai Aluminium

1st Reva Putra Hanifan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
revahanifan@student.telkomuniver
sity.ac.id

2nd Ekki Kurniawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
ekkekikurniawan@telkomuniversity.ac.id

3rd Erwin Susanto
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom

Bandung, Indonesia
erwinelektro@telkomuniversity.ac.i
d

Abstrak — Pesatnya perkembangan teknologi mengakibatkan meningkatnya kebutuhan energi listrik di masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan pembangkit listrik alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah energi surya, yang dapat diubah menjadi energi listrik melalui modul sel surya fotovoltaik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul sel surya dapat membantu meningkatkan kinerja baterai aluminium dan melindunginya dari korosi. Selain itu, baterai aluminium juga mengalami peningkatan tegangan sebesar 0,59 V dalam waktu 9 jam saat diintegrasikan dengan modul surya atau terjadi pengisian. Oleh karena itu, baterai aluminium berpotensi memenuhi kebutuhan listrik masyarakat secara berkelanjutan.

Kata kunci — Baterai aluminium, modul sel surya, ramah lingkungan.

Energi surya dapat menjadi pilihan yang tepat dalam pemanfaatan energi terbarukan[3]. Bukan hanya karena sumber energi surya tidak ada habisnya tetapi juga karena penerapan dan penggunaannya mudah dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya[4]. Selain pengembangan pembangkit listrik, terdapat pula potensi besar dalam pengembangan alat penyimpan tenaga listrik, khususnya baterai. Namun bahan baterai yang banyak digunakan adalah baterai litium, dimana litium merupakan bahan yang sulit ditemukan di Indonesia. Namun sebagian besar bahan lithium perlu diimpor dari luar negeri dan harganya juga cukup mahal sehingga diperlukan modal yang besar untuk reproduksi guna memenuhi kebutuhan listrik masyarakat[5]. Dengan inovasi baterai aluminium dengan bahan dasar aluminium, biaya dapat ditekan dan produksi dalam skala besar dapat dilakukan karena aluminium mudah didapat di dalam negeri dan juga relatif murah.

I. PENDAHULUAN

Saat ini, penggunaan energi terbarukan sebagai sumber listrik merupakan suatu hal yang tidak dapat dipisahkan. Hal ini dikarenakan meningkatnya kebutuhan listrik masyarakat. Berdasarkan laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, pada tahun 2022 rata-rata konsumsi listrik di Indonesia mencapai 1.173 kWh/kapita. Terjadi peningkatan sekitar 4% dibandingkan tahun 2021[1]. Listrik merupakan kebutuhan pokok bagi banyak aktivitas manusia di kota-kota besar maupun di daerah-daerah yang belum terjangkau oleh PLN, seperti daerah 3T (tertinggal, terjauh, termiskin). Meningkatnya kebutuhan listrik juga didukung oleh perkembangan industri transportasi. Pada tahun 2021, data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, mencatat cadangan minyak bumi Indonesia sebesar 3,95 miliar barel. Terjadi penurunan besar dari 7,73 miliar barel pada tahun 2011[2]. Meningkatnya kebutuhan akan listrik dan bahan bakar fosil memicu perkembangan di berbagai bidang teknologi, seperti konversi pembangkit listrik dari bahan bakar diesel menjadi listrik dengan menggunakan energi terbarukan.

II. KAJIAN TEORI

Adapun teori yang berkaitan dengan penelitian yang digunakan, yaitu sebagai berikut.

A. Modul sel surya

Modul sel surya merupakan perangkat elektronik yang mampu mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sel surya terdiri dari lapisan semikonduktor yang mampu mengubah energi cahaya menjadi energi listrik melalui fotolisis. Sel surya biasa digunakan pada modul sel surya, yaitu seperangkat perangkat yang terdiri dari beberapa sel surya yang disusun secara paralel dan seri. Seperangkat modul sel surya disebut panel surya atau sistem fotovoltaik. Adapun jenis-jenis PV antara lain:

1. Monokristal, merupakan modul sel surya dengan performa terbaik dan menghasilkan kapasitas listrik per satuan luas terbesar dibandingkan panel lainnya karena menggunakan teknologi terkini. Monokristal dirancang untuk aplikasi yang memerlukan konsumsi daya tinggi di iklim yang keras, dengan efisiensi hingga 15% [6]. Kelemahan panel jenis ini adalah tidak dapat bekerja dengan baik di tempat yang kurang mendapat sinar matahari, dan efektivitasnya akan menurun secara signifikan pada cuaca berawan.

2. Polikristal, merupakan modul sel surya yang memiliki susunan kristal acak karena diproduksi menggunakan proses pencetakan. Jenis ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan kristal tunggal untuk menghasilkan energi listrik yang sama. Modul sel surya jenis ini memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis monokristalin, sehingga harganya cenderung lebih rendah[6].

3. Thin Film Photovoltaic, adalah modul sel surya (bilayer) dengan struktur film tipis silikon mikrokristalin dan amorf dengan efisiensi modul hingga 8,5%[6]. Oleh karena itu, luas permukaan yang dibutuhkan untuk setiap watt daya yang dihasilkan lebih besar dibandingkan luas permukaan panel monokristalin dan polikristalin.

B. WP modul sel surya

Kapasitas panel surya biasanya dinyatakan dalam watt peak (Wp), yang merupakan output maksimum dari panel surya dalam kondisi standar (STC). Output nyata dari panel surya di lapangan seringkali lebih rendah daripada nilai Wp karena variasi kondisi cuaca dan lingkungan. Konsumsi energi adalah jumlah energi listrik yang digunakan oleh beban selama periode tertentu, biasanya dinyatakan dalam watt-jam (Wh) atau kilowatt-jam (kWh)[7]. Untuk merancang sistem panel surya, konsumsi energi harian merupakan faktor kunci yang harus dihitung terlebih dahulu. Adapun perhitungan konsumsi sistem yang digunakan sebagai berikut. Setelah itu, untuk menghitung konsumsi energi perhari sebagai berikut. Jika pengguna menggunakan beban selama 11 jam dalam satu hari maka:

TABEL 1
Konsumsi Energi Harian

Beban	Daya	Konsumsi perhari
Lampu 1	5 watt	55 Wh
Lampu 2	18 watt	198 Wh
Lampu 3	30 watt	330 Wh
Total		583 Wh

Dari hasil tersebut, kebutuhan energi harian yang dibutuhkan 583 Wh atau 0,583. Untuk menghitung kebutuhan Wp modul surya yang digunakan dilakukan perhitungan

$$Wp = \frac{E}{H_{solar} \times F_{derating}} \quad (1)$$

Dimana:

- Wp = Kapasitas panel surya yang dibutuhkan (Wp)
- E = Konsumsi energi harian (Wh)
- Hsolar = Irradiance matahari harian (kWh/m²/hari)
- Fderating = Faktor penyusutan

Untuk mencari radiasi matahari harian menggunakan rata-rata radiasi matahari pada lokasi pengambilan data. Didapatkan hasil yaitu 5,4 kWh/m²/hari. Maka,

$$Wp = \frac{583}{5,4 \times 0,8} \quad (2)$$

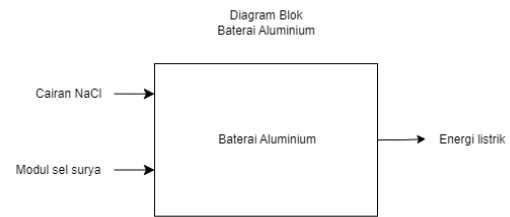
$$Wp = 86,37 \text{ Wp}$$

Dari perhitungan tersebut, akan digunakan modul sel surya yang memiliki spesifikasi 100 Wp untuk memenuhi kebutuhan energi harian.

III. METODE

Perancangan ini melibatkan berbagai konsep solusi, termasuk pembuatan diagram blok, *flowchart*, penjelasan cara penggunaannya, dan desain sistem.

A. Blok Diagram

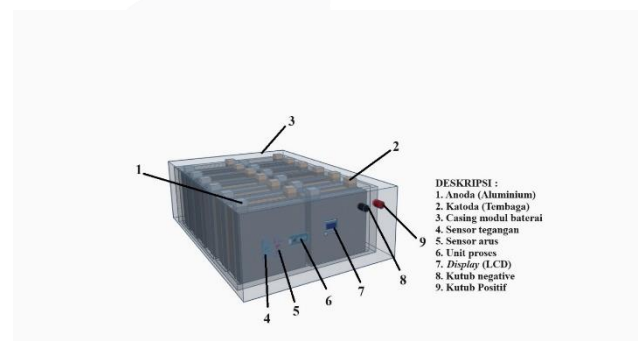


Gambar 1.
Diagram Blok Baterai Aluminium

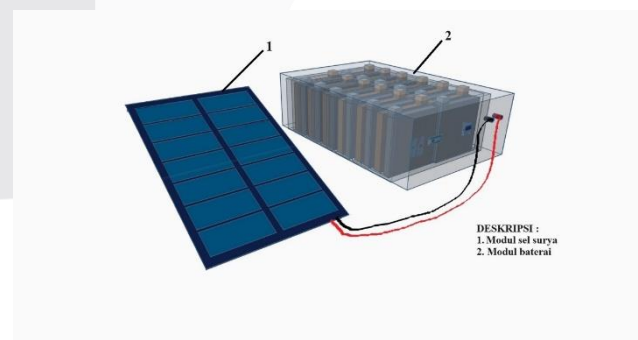
Berdasarkan gambar 1, diagram blok ini menunjukkan *input* dan *output* dari baterai aluminium. Adapun input tersebut adalah cairan NaCl dan input energi listrik berasal dari modul sel surya. Setelah itu, energi listrik menjadi sebuah keluaran dari baterai aluminium.

B. Desain Sistem

Dalam satu modul baterai aluminium terdapat 24 sel baterai, terdapat ruang tambahan di dalam modul yang dapat dimanfaatkan sebagai tempat untuk mengintegrasikan komponen sistem monitoring baterai.



GAMBAR 2.
Desain Sistem Baterai Aluminium



GAMBAR 3.
Desain Sistem Baterai Aluminium dan Modul Sel Surya

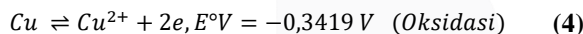
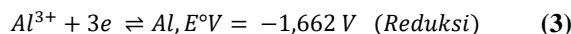
C. Cara penggunaan

Pada gambar 2 pengguna menuangkan cairan elektrolit (NaCl) pada setiap sel baterai. nantinya akan terjadi reaksi kimia pada sel baterai menghasilkan energi listrik. Tegangan dan arus dari energi listrik pada baterai akan terdeteksi oleh

komponen (nomor 4 & 5) yang terhubung dengan katode (nomor 2) dan anode (nomor 1). Setelah itu data yang didapat dari komponen nomor 6 & 7 akan diolah pada unit proses (nomor 6). Data yang telah diolah pada unit proses (nomor 6) akan ditampilkan pada display (nomor 7). Pengguna atau user dapat melihat tampilan berupa informasi tegangan, arus dan daya melalui display (nomor 7). Pengguna dapat menyalakan perangkat dengan cara menghubungkan dengan kutub negatif (nomor 8) dan kutub positif (nomor 9). Pada gambar 3 pengguna dapat menghubungkan modul sel surya (nomor 1) ke baterai aluminium (nomor 2).

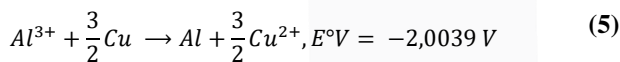
D. Cara kerja baterai

Di dalam sel baterai terjadi reaksi kimia *reversible*, artinya reaksi kimia di dalam baterai dapat terjadi sebaliknya. Dimana pada saat baterai habis terjadi reaksi yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya pada saat pengisian terjadi suatu reaksi kimia yang dapat dibalik. Reaksi tersebut mengubah energi listrik menjadi energi kimia [8]. Pengisian dilakukan untuk meregenerasi elektroda. Selama pengisian ulang tegangan baterai, sumber daya eksternal dihubungkan secara paralel. Oleh karena itu, elektron berpindah dari anoda ke katoda. Reaksi redoks akan berbanding terbalik dengan muatannya, aluminium akan mengalami reduksi dan tembaga akan mengalami oksidasi. Sehingga persamaan reaksi yang dihasilkan adalah :



[9]

Sehingga persamaan reaksi pada proses pengisian sel baterai aluminium menjadi :



Maka, -2,0039 V adalah nilai potensial reaksi pada sel baterai. Reaksi tersebut tidak akan terjadi secara spontan, hal tersebut ditunjukkan dari hasil nilai potensial sel yang menunjukkan nilai negatif. Maka diperlukan energi listrik untuk melakukan reaksi tersebut [10].

E. Implementasi

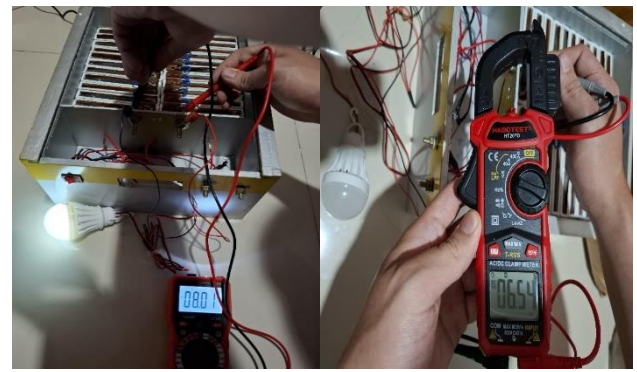
Modul baterai aluminium terbentuk dari 24 sel baterai aluminium, setiap sel baterai dapat menghasilkan tegangan $\pm 0,5V$. Pada modul baterai aluminium ini, sel-sel baterai dihubungkan secara seri. Dengan demikian, modul baterai aluminium mempunyai tegangan $\pm 12V$. Modul sel surya jenis monokristalin akan diintegrasikan pada modul baterai aluminium.

F. Pengujian/Kalibrasi.

1. Kapasitas modul baterai aluminium

Untuk mengetahui kapasitas baterai yang telah dirancang, dilakukan pengujian pengosongan baterai. Hasil dari pengujian tersebut memiliki nilai keluaran Ah (Ampere hour) dengan menggunakan rumus

$$Ah = A \times Waktu \quad (6)$$



Gambar 4. Pengosongan Modul Baterai Aluminium
Beban berupa lampu DC 12 V juga dihubungkan secara paralel untuk melakukan proses pengosongan baterai.

TABEL 2.
Pengujian Kapasitas

Waktu (Jam)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	8,01	0,08	0,64
1	7,68	0,07	0,53
2	7,64	0,07	0,53
3	7,62	0,07	0,53
4	7,6	0,06	0,45
5	7,59	0,06	0,45
6	7,59	0,05	0,37
7	7,58	0,05	0,37
8	7,57	0,05	0,37
9	7,57	0,05	0,37
10	7,55	0,05	0,37
11	7,55	0,05	0,37
12	7,44	0,04	0,29
13	7,36	0,04	0,29
14	7,35	0,04	0,29
15	7,33	0,04	0,29
16	7,32	0,04	0,29
17	7,31	0,03	0,21
18	7,3	0,03	0,21
19	7,29	0,03	0,21
20	7,28	0,03	0,21
21	7,26	0,03	0,21
22	7,25	0,03	0,21
23	7,24	0,02	0,14
24	7,23	0,02	0,14
25	7,21	0,02	0,14
26	7,15	0,02	0,14
27	7,07	0,02	0,14
28	7,01	0,02	0,14
29	6,82	0,02	0,13
30	6,78	0,01	0,06
31	6,63	0,01	0,06
32	6,54	0	0

Pengujian kapasitas baterai dilakukan dengan cara pengosongan baterai yang dilakukan selama 32 jam 13 menit. Terjadi penurunan tegangan sebesar 4,85 V saat beban terpasang. Maka, kapasitas baterai :

$$Ah = \text{Arus pengosongan} \times \text{waktu pengosongan} \quad (7)$$

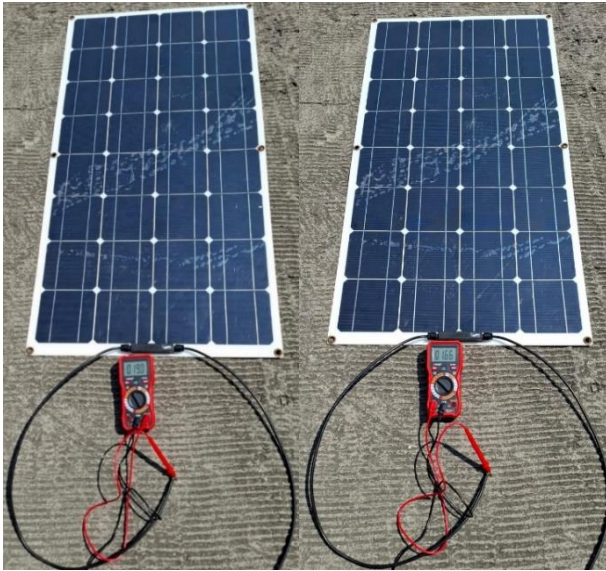
$$= 0,08 \text{ A} \times 32,2 \text{ jam}$$

$$= 2,576 \text{ Ah}$$

Kapasitas baterai sebesar 2,576 Ampere hour (Ah).

2. Modul sel surya

Pengujian pada modul sel surya dilakukan pada jam 12.35 WIB, pada suhu udara 30°C dengan menggunakan alat pengukuran berupa multimeter, didapatkan hasil tegangan sebesar 19 V dan arus sebesar 1,66 A.



GAMBAR 5.
Modul Sel Surya

TABEL 3.
Hasil Pengujian Modul Sel Surya

Tegangan (V)	Arus (A)
19	1,66

Dari data tegangan dan arus tersebut dapat didapatkan nilai daya dengan menggunakan rumus

$$P = V \times I$$

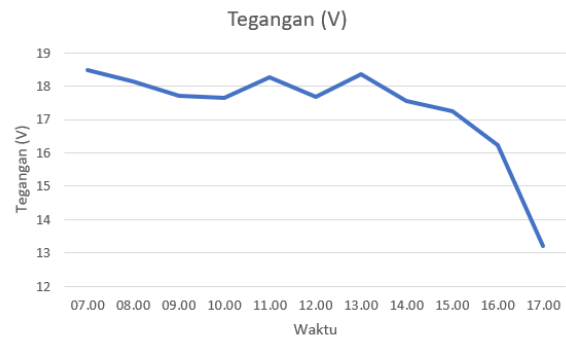
$$19 \text{ V} \times 1,66 \text{ A} = 31,54 \text{ W}$$

(8)

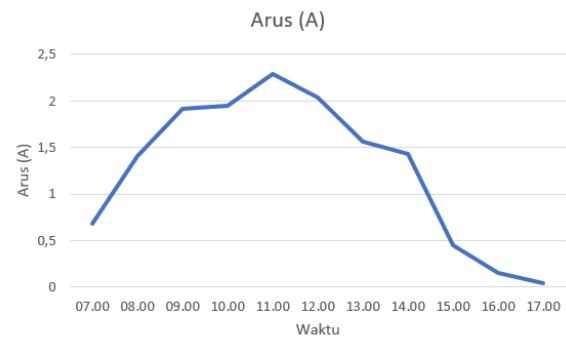
Sehingga, daya yang dihasilkan dari modul sel surya sebesar 31,54 W. Hasil tersebut adalah tegangan tertinggi dan arus tertinggi yang dihasilkan modul sel surya. Adapun pengujian untuk mengetahui kurva dari pengisian baterai sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Modul Sel Surya

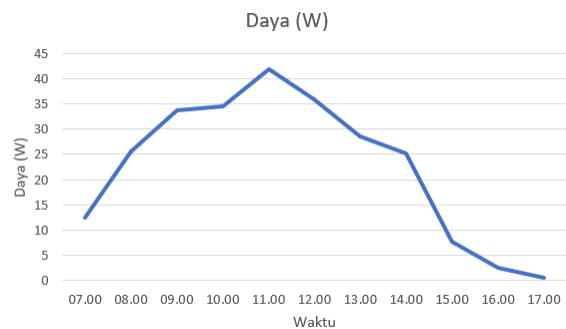
Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
07.00	18,47	0,68	12,55
08.00	18,14	1,41	25,57
09.00	17,71	1,91	33,82
10.00	17,66	1,95	34,43
11.00	18,25	2,29	41,79
12.00	17,68	2,03	35,89
13.00	18,35	1,56	28,62
14.00	17,57	1,43	25,12
15.00	17,25	0,45	7,76
16.00	16,23	0,15	2,43
17.00	13,2	0,04	0,52



Gambar 6. Tegangan pada Modul Sel Surya



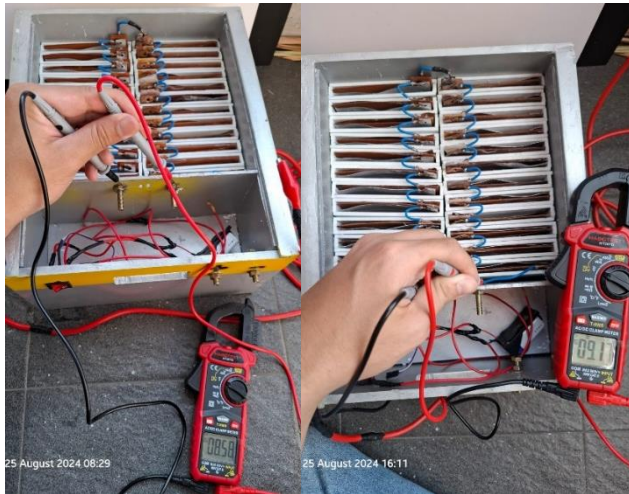
GAMBAR 7.
Arus pada Modul Sel Surya



GAMBAR 8.
Daya pada Modul Sel Surya

3. Pengisian

Pada pengujian ini kami melakukan percobaan pengisian baterai menggunakan modul sel surya, pengisian berlangsung selama 9 jam.

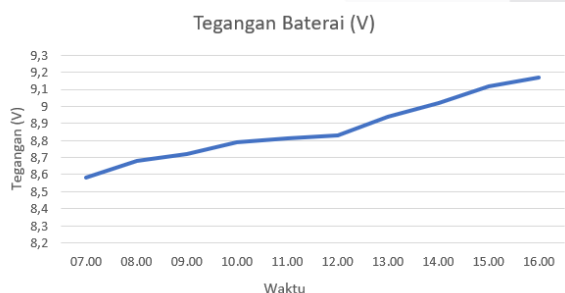


GAMBAR 9.
Pengisian Baterai

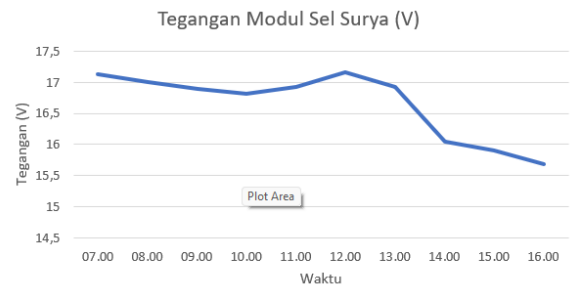
TABEL 5.
Hasil Pengisian Baterai

Waktu	Tegangan Baterai (V)	Arus Modul Sel Surya (A)	Tegangan Modul Sel Surya (V)	Daya Modul Sel Surya (W)
07.00	8,58	0,08	17,13	1,37
08.00	8,68	0,06	17	1,02
09.00	8,72	0,06	16,9	1,01
10.00	8,79	0,06	16,82	1,00
11.00	8,81	0,06	16,93	1,01
12.00	8,83	0,06	17,16	1,02
13.00	8,94	0,06	16,92	1,01
14.00	9,02	0,05	16,05	0,80
15.00	9,12	0,01	15,91	0,15
16.00	9,17	0,01	15,68	0,15

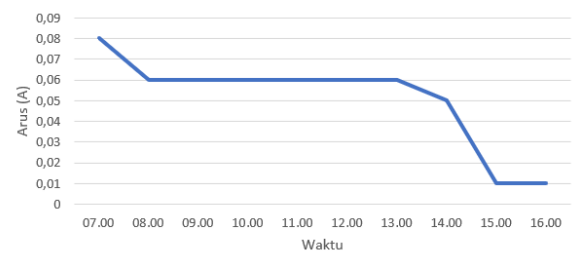
Dapat dilihat pada gambar 9 kondisi awal baterai sebelum dilakukan pengisian ulang tegangan berada pada 1,87 V. Proses pengujian pengisian baterai dilakukan menggunakan modul sel surya dengan tegangan di 18 V. Kondisi baterai setelah dilakukan pengisian selama 9 jam, tegangan baterai berada di angka 0,59 V. Adapun grafik yang dihasilkan sebagai berikut,



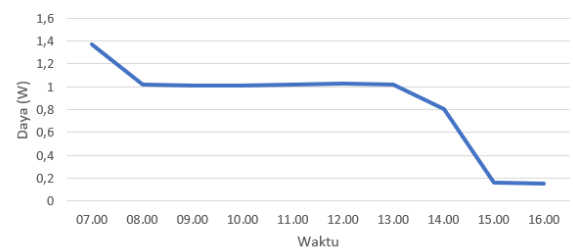
Gambar 10. Hasil Pengisian Baterai Menggunakan Modul Sel Surya



GAMBAR 11.
Tegangan Yang Diberikan Modul Sel Surya



GAMBAR 12.
Arus Yang Diberikan Modul Sel Surya



GAMBAR 13.
Daya Yang Diberikan Modul Sel Surya

Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan tegangan pada baterai. Pengujian pengisian baterai menggunakan modul sel surya dilakukan selama 9 jam,

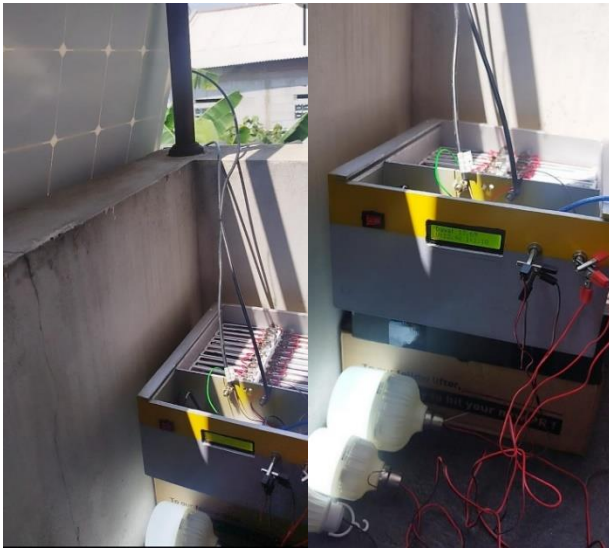
- Kondisi sebelum pengisian : 8,58 V
- Kondisi setelah pengisian : 9,17 V

Setelah dilakukan pengujian pengisian ulang tegangan baterai, didapat bahwa baterai memiliki kenaikan tegangan sebesar 0,59 V dalam waktu 9 jam, dengan rata-rata kenaikan tegangan sebesar 0,06 V/jam. Pada gambar 11 tegangan yang diberikan modul sel surya untuk baterai mengalami penurunan pada sore hari. Hal ini dikarenakan tingkat radiasi matahari yang telah menurun. Arus pada gambar 12 memiliki bentuk grafik yang sama dengan daya pada gambar 13, karena keduanya bergantung pada tegangan dalam rangkaian listrik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Baterai terintegrasi dengan modul sel surya

Implementasi modul sel surya pada baterai dilakukan untuk memanfaatkan energi terbarukan, yaitu energi matahari yang bertujuan untuk memaksimalkan kinerja baterai.



Gambar 14.
Hasil Integrasi Sistem

Beban berupa lampu DC 12 V dengan masing-masing daya 5 W, 18 W, dan 30 W yang dihubungkan secara paralel digunakan untuk mengetahui kinerja baterai yang telah terintegrasi modul sel surya

Tabel 6. Hasil Integrasi Sistem

Waktu (Menit)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	7,74	0,04	0,72
4	12,42	1,12	13,94
60	9,89	0,41	4,05
119	9,26	0,41	3,79
180	9,32	0,22	2,09
246	8,65	0,22	1,94
303	8,29	0,09	0,77
361	7,63	0,04	0,3
374	6,55	0	0

Setelah dilakukan implementasi modul sel surya pada baterai, didapatkan hasil awal tegangan sebesar 12,42 V dan arus sebesar 1,12 A dengan daya sebesar 13,9 W. Pengujian dilakukan selama 6 jam 10 menit sampai lampu mati. Dari data hasil implementasi tersebut dapat dihitung :

a. Rata-rata penurunan tegangan :

$$= \frac{(tegangan\ awal - tegangan\ akhir)}{waktu\ pengosongan} \quad (9)$$

$$= \frac{(12,42 - 6,55)}{6,16}$$

Maka baterai mengalami penurunan tegangan sebesar 0,95 V per jam nya.

b. Rata-rata penurunan arus :

$$= \frac{(arus\ awal - arus\ akhir)}{waktu\ pengosongan} \quad (10)$$

$$= \frac{(1,12 - 0)}{6,16}$$

Maka baterai mengalami penurunan arus sebesar 0,18 A per jam nya.

c. Rata-rata penurunan daya :

$$= \frac{(daya\ awal - daya\ akhir)}{waktu\ pengosongan} \quad (11)$$

$$= \frac{(13,94 - 0)}{6,16}$$

Maka baterai mengalami penurunan daya sebesar 2,26 W per jam nya. Jika kita bandingkan hasil pengujian ini dengan pengujian tanpa menggunakan modul sel surya, terdapat peningkatan kinerja baterai. Pada arus yang dibaca mengalami kenaikan dari 0,22 A menjadi 1,12 A. Hal tersebut terjadi karena adanya kenaikan tegangan ketika baterai aluminium diintegrasikan dengan modul sel surya.

V. KESIMPULAN

Baterai aluminium merupakan sebuah alternatif model penyimpanan listrik. Dalam penelitian ini didapat bahwa baterai aluminium yang telah dirancang memiliki kelebihan dan kekurangan. Baterai yang telah dirancang dapat menghasilkan tegangan sebesar 12 V. Setelah dilakukan pengujian baterai memiliki kapasitas sebesar 2,576 Ampere hour (Ah). Pemanfaatan modul sel surya pada baterai aluminium memiliki pengaruh terhadap kinerja baterai. Baterai aluminium mengalami kenaikan tegangan sebesar 0,59 V dalam waktu 9 jam . Namun, pada pengisian baterai menggunakan modul sel surya dengan beban masih memiliki hasil yang kurang maksimal. Walaupun masih dapat dikembangkan kembali. Salah satu yang dapat dilakukan adalah menggunakan bahan yang lebih murni atau yang menggunakan kualitas produksi dan alat pengujian yang lebih baik.

REFERENSI

- [1] Adi Ahdiat, "Konsumsi Listrik Penduduk Indonesia Naik pada 2022, Capai Rekor Baru," Databoks. Accessed: Aug. 15, 2024. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/02/23/konsumsi-listrik-penduduk-indonesia-naik-pada-2022-capai-rekor-baru>
- [2] Reza Pahlevi, "Cadangan Minyak Indonesia Terus Menipis dalam 10 Tahun Terakhir," Databoks. Accessed: Aug. 15, 2024. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/07/22/cadangan-minyak-indonesia-terus-menipis-dalam-10-tahun-terakhir>
- [3] N. B. Alnavis, R. R. Wirawan, K. I. Solihah, and V. H. Nugroho, "Energi listrik berkelanjutan: Potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia," Journal of Innovation Materials, Energy, and Sustainable Engineering, vol. 1, no. 2, Jan. 2024, doi: 10.61511/jimese.v1i2.2024.544.
- [4] 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.
- [5] Steve Hanley, "Aluminum-Ion & Lithium-Sulfur Battery News," CleanTechnica. Accessed: Aug. 15,

2024. [Online]. Available: <https://cleantechnica.com/2023/06/16/aluminum-ion-lithium-sulfur-battery-news/>
- [6] A. Pengaruh et al., "Jurnal Mesil (Mesin, Elektro, Sipil,)," vol. 1, no. 2, pp. 99–106, 2020.
- [7] R. Aita Diantari, C. Widyastuti, and T. Elektro, "Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS."
- [8] David. Linden and T. B. . Reddy, Handbook of batteries. McGraw-Hill, 2002.
- [9] P. Vany, "Standard Potentials in Aqueous Solutions," Marcel Dekker, 1978.
- [10] S. V. Chasteen, N. D. Chasteen, and P. Doherty, "The Salty Science of the Aluminum-Air Battery," Phys Teach, vol. 46, no. 9, pp. 544–547, Dec. 2008, doi: 10.1119/1.3023656.

