

## **RANCANG BANGUN PENYIMPANAN DAYA PLTS KAPASITAS 160WP MENGUNAKAN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS) PASSIVE BALANCING SEBAGAI PENYEIMBANG TEGANGAN PADA BATERAI**

Oleh: Nadhirohmatica Astaghytsu<sup>1</sup>, Mochammad Muqorrobin<sup>2</sup>, Eriko Arvin Karuniawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Kec Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah

Email : nastaghytsu19@gmail.com

### **Abstrak**

*Baterai dapat mengalami kerusakan serta kapasitas dan umur baterai dapat berkurang ketika baterai mengalami kondisi overcharging atau undercharging. Sebab itu, baterai perlu dilengkapi dengan manajemen sistem yang baik. Pada penelitian ini, passive balancing dipilih sebagai metode untuk manajemen baterai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan memahami cara kerja BMS, serta mengetahui dampak penggunaan passive balancing terhadap durasi pengisian pada baterai. Dengan melakukan pengukuran tegangan pada setiap grup Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengukur efisiensi sistem. Dari pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa passive balancing bekerja dengan mengukur tegangan masing-masing grup baterai, kemudian menyeimbangkannya menggunakan resistor, jika menggunakan sumber dari PLN, penggunaan passive balancing dapat meningkatkan efisiensi pelepasan. Angka efisiensi tertinggi hingga 99,18% dan efisiensi terendah sebesar 96,29%, jika menggunakan sumber PLTS efisiensi pelepasan tertinggi mencapai 96,93% dan efisiensi terendah sebesar 93,25%. Dan penggunaan passive balancing dapat memperpanjang durasi pengisian baterai. Namun, memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan tidak menggunakan balancing.*

**Kata kunci:** Baterai, Battery management system, Passive balancing, PLTS

### **1. PENDAHULUAN**

Dalam pengelolaan penyimpanan daya, baterai merupakan komponen vital yang sangat rentan dengan daya tahannya. Kondisi seperti overcharging (pengisian berlebihan) atau undercharging (pengisian kurang) dapat menyebabkan kerusakan permanen pada sel baterai. Hal ini tidak hanya mengurangi kapasitas baterai, tetapi juga memperpendek umur baterai secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan sistem manajemen baterai yang efektif untuk menjaga kinerja dan umur baterai.

Dalam konteks pengisian baterai lithium, sering kali terjadi ketidakseimbangan, di mana satu sel baterai terisi penuh lebih dahulu dibandingkan sel lainnya. Oleh karena itu, sistem BMS yang dilengkapi dengan metode balancing sangat penting untuk mengatur distribusi tegangan dan memastikan semua sel baterai tetap seimbang. Salah satu metode balancing yang umum digunakan adalah metode balancing pasif (passive balancing), yang menggunakan resistor sebagai komponen pasif untuk mengeluarkan tegangan berlebih pada sel baterai yang memiliki tegangan tinggi, sementara sel dengan

tegangan lebih rendah tetap melanjutkan pengisian.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji dampak penggunaan passive balancing terhadap kinerja dan umur baterai dalam sistem penyimpanan daya yang bersumber dari pembangkit listrik tenaga surya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemahaman mengenai efisiensi sistem balancing pasif dan pengaruhnya terhadap durasi pengisian serta keandalan baterai pada kondisi operasi tertentu. Dengan demikian, penelitian ini juga diharapkan mampu menawarkan solusi optimal untuk pemeliharaan dan perpanjangan usia baterai dalam aplikasi energi terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga surya.

### **2. LANDASAN TEORI**

Terdapat beberapa komponen utama dalam perancangan sistem penyimpanan daya, yaitu PLTS, Baterai, BMS, Inverter, serta Solar Charge Controller (SCC) untuk memaksimalkan penyimpanan daya yang akan digunakan.

## 2.1. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah teknologi yang mengonversi energi foton dari cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan sel-sel photovoltaic, yang terdiri dari silikon murni atau bahan semikonduktor lainnya. Ketika semikonduktor ini terkena cahaya matahari, ikatan atomnya tereksitasi, menyebabkan elektron bergerak bebas dan menghasilkan arus listrik searah (DC). Berdasarkan teknologi pembuatannya, sel surya dapat dibagi menjadi monocrystalline, polycrystalline, Thin Film Solar Cell (TFSC). Monocrystalline terbuat dari kristal silicon murni tipis atau sel kristal tunggal, polycrystalline terbuat dari beberapa batang kristal silicon yang dilebur menggunakan pipa paralel, thin film solar cell (TFSC) diproduksi dengan menambahkan lapisan material sel surya tipis ke dalam lapisan dasar. Dari ketiga jenis sel surya tersebut terdapat beberapa perbedaan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing jenis. Berikut merupakan perbedaan dari jenis sel surya yang ada.

Tabel 1 kelebihan dan kekurangan sel-sel surya

Pembandingan	Monocrystalline	Polycrystalline	TFSC
Harga	Mahal	Sedang	murah
Efisiensi	20%	13-16%	6-12%
Daya Serap	Lebih baik dibanding polycrystalline saat mendung	Buruk ketika suhu tinggi	Efisien ketika cuaca buruk

Penentuan kapasitas dari panel surya dapat dihitung melalui persamaan 2.1 berikut:

$$kW(peak)PLTS = \frac{Total\_Kebutuhan\_Energi\_Harian}{Iradiasi(\frac{kWh}{m^2})}$$

Hasil dari perhitungan ditambahkan 10% hingga 25% yang merupakan faktor losses sistem. Perhitungan yang telah ditambahkan faktor losses sistem dapat dihitung melalui persamaan 2.2 berikut:

$$kW(peak)PLTS = kWp + (0,25 \times kWp)$$

Hasil perhitungan yang telah ditambahkan oleh losses sistem yang akan digunakan dalam realisasi pemasangan panel surya.

## 2.2 BATERAI

Baterai adalah sel listrik yang menghasilkan energi listrik melalui proses elektrokimia. Pada proses pengosongan, energi kimia diubah menjadi energi listrik, sementara pada proses pengecasan, energi listrik diubah kembali menjadi energi kimia. Baterai terdiri dari elektroda positif dan negatif yang direndam dalam larutan elektrolit, yang memungkinkan terjadinya aliran listrik ketika ada perbedaan potensial antara anoda dan katoda. Separator dan elektrolit dalam baterai bertindak sebagai isolator untuk elektron dan konduktor untuk ion, sehingga arus listrik hanya mengalir melalui rangkaian eksternal. (Dzikron, 2021)

Untuk mengetahui kapasitas baterai yang dibutuhkan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$E_{Batt} = E_{Daily} \times A_d$$

Keterangan :

$E_{Batt}$  : Kebutuhan energi baterai (Wh)

$E_{Daily}$  : Total energi harian (Wh)

$A_d$  : Hari otonom (Days)

Dalam sistem PLTS susunan baterai dapat digabungkan secara seri, paralel, maupun seri paralel. Untuk menentukan susunan baterai dapat dihitung melalui persamaan 2.5 dan 2.6 berikut: (M.Yunus et al, 2022)

$$Jumlah\ seri\ baterai = \frac{Tegangan\ kerja\ sistem\ (Vdc)}{Tegangan\ kerja\ unit\ baterai\ (Vdc)}$$

$$Jumlah\ paralel\ baterai = \frac{Kebutuhan\ energi\ dari\ baterai\ (Wh)}{Tegangan\ kerja\ sistem\ (Vdc) \times Ah\ baterai \times DOD}$$

## 2.3. BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS)

BMS (Battery Management System) berfungsi mengontrol dan memantau data tegangan, arus, dan temperatur baterai

selama penggunaan. Pengendalian ini dilakukan oleh sensor dan unit pengontrol utama BMS yang bekerja secara real-time dengan algoritma kontrol. Setiap parameter baterai, seperti tegangan, arus, dan temperatur, memiliki batas atas dan bawah yang digunakan sebagai acuan untuk memastikan proses pengisian dan pengosongan berlangsung dalam batas aman. Jika parameter melebihi batas normal, BMS akan mengambil tindakan pencegahan, seperti memutus arus listrik (cut-off), untuk melindungi baterai.

#### 2.4. PASSIVE BALANCING

Passive balancing adalah metode manajemen baterai yang mengalihkan kelebihan kapasitas melalui resistor, mengubahnya menjadi panas. Proses ini menyebabkan ketidakhomogenan pada sel baterai, di mana sel dengan kapasitas lebih tinggi melepaskan energi, sementara sel dengan tegangan lebih rendah terus mengisi daya hingga tegangan mencapai keseimbangan dengan sel lainnya. Resistor dapat melepaskan kapasitas secara kontinu atau berdenyut, tergantung pada tegangan input.

Untuk mengetahui efisiensi dari penggunaan balancing dapat dihitung melalui persamaan 2.7 berikut (M. Yunus et al, 2022):

$$Efisiensi = \frac{Output}{Input} \times 100\%$$

Keterangan :

Output : tegangan input – tegangan total penyimpanan posisi seimbang

Input : tegangan total penyimpanan awal

#### 2.5 INVERTER

Inverter merupakan perangkat elektronik yang dapat mengubah sumber arus searah DC (Direct Current) menjadi arus bolak-balik AC (Alternating Current). Inverter dapat digunakan dalam banyak kondisi, contohnya ketika ada kondisi yang hanya tersedia arus DC rendah yang dihasilkan dari baterai, aki atau panel surya, inverter dibutuhkan untuk menyuplai peralatan elektronika dengan masukan arus AC.

Pada inverter, umumnya terdapat dua perbedaan gelombang yang dihasilkan, yaitu berupa modified sine wave (sinyal sinus modifikasi) dan pure sine wave (sinyal sinus murni). Modified sine wave menghasilkan sinyal output berupa gelombang kotak (square wave) maupun gelombang kotak dengan modifikasi yang bentuknya mengikuti pola gelombang sinus. Tipe sinus modifikasi lebih mudah dibuat dibandingkan dengan tipe sinus murni. Inverter dengan output sinyal gelombang murni identik dengan dengan gelombang yang dihasilkan oleh operator penyedia listrik. (Panggabean, 2017)

Besar kapasitas inverter dapat dihitung melalui persamaan 2.9 berikut (M. Yunus et al, 2022) :

$$Clv = Dw \times Sf$$

Keterangan :

Clv = Kapasitas inverter (W)

Dw = Demand watt (W)

Sf = Safety factor

#### 2.6. SOLAR CHARGE CONTROLLER (SCC)

Solar charge controller (SCC) merupakan salah satu komponen dalam sistem PLTS, berfungsi untuk mengatur tegangan atau arus keluaran dari panel surya yang digunakan untuk mengisi baterai dan menjaga baterai dari kondisi pengisian berlebih (over charge) dengan mengatur daya dari baterai ke beban. Pada umumnya, solar charge controller yang sering digunakan di pasaran adalah tipe Modulasi Lebar Pulsa (Pulse Width Modulation / PWM) dan tipe Maximum Power Point Tracker (MPPT). (Perdana,2020)

Terdapat beberapa parameter dalam pemilihan Solar Charge Controller (SCC), total arus, jumlah SCC, dan daya merupakan parameter yang harus diperhitungkan dalam pemilihan SCC. Perhitungan parameter kebutuhan SCC dapat dilihat pada persamaan a sampai dengan c berikut (M. Yunus et al, 2022) :

a. Perhitungan total arus SCC

$$I_{scc} = \frac{\text{Daya puncak}}{\text{Tegangan sistem}}$$

b. Perhitungan jumlah SCC yang dibutuhkan

$$\text{Jumlah SCC} = \frac{I_{scc}}{\text{Kapasitas arus yang dipilih}}$$

c. Perhitungan daya SCC

$$\text{Daya SCC} = \frac{\text{Kapasitas Panel Surya}}{\text{Jumlah SCC}}$$

Keterangan :

I<sub>scc</sub> = Total arus SCC (A)

V = Tegangan sistem (V)

Daya puncak = Daya puncak (Wp)

Jumlah SCC = Kebutuhan SCC yang diperlukan (Unit)

Daya SCC = Daya SCC (W)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. PENGUJIAN CHARGING DENGAN SUMBER PLTS

Pengujian pengisian daya dengan sumber PLTS merupakan implementasi dari pengujian menggunakan PLN. Karena PLTS bersumber dari matahari maka cuaca juga berpengaruh terhadap data pengujian, oleh karena itu pengujian PLTS kurang akurat jika dijadikan parameter pengujian balancing yang membutuhkan input konstan. Pada pengujian ini menggunakan 2 metode yaitu pengujian dengan passive balancing dan pengujian tanpa passive balancing.

##### 3.1.1. PENGUJIAN CHARGING DENGAN PASSIVE BALANCING

Pada pengujian pengisian baterai menggunakan sumber PLTS menyajikan dua buah tabel yang merupakan tabel hasil pengujian dan tabel hasil perhitungan penyimpangan yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 1 Hasil pengujian charging passive balancing dengan sumber PLTS

Jam	Grup Baterai (V)				Total (V)	Arus (A)	Tegangan SCC (V)	Suhu PV (°C)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Cuaca
	A	B	C	D						
05.30	2,577	2,829	2,795	2,889	11,09	0	4,835	22,7	0,6	Cerah
06.00	2,577	2,829	2,795	2,889	11,09	0	11,14	23,8	8,6	Cerah
06.30	2,61	2,835	2,825	2,89	11,16	0,2	11,7	23,9	41,3	Cerah
07.00	2,647	2,849	2,833	2,911	11,24	0,4	12,16	23,7	88,2	Cerah
07.30	2,715	2,854	2,858	2,917	11,34	0,8	12,58	26,6	180,4	Cerah
08.00	2,756	2,893	2,858	2,933	11,44	0,9	12,81	28,4	647,1	Cerah
08.30	2,838	2,782	2,892	2,946	11,46	1,2	13,14	39,4	794,4	Cerah
09.00	2,851	2,965	2,892	3	11,71	3,6	13,73	51,4	990,8	Cerah
09.30	2,923	3,018	2,923	3,044	11,91	2,9	13,97	50,6	856	Berawan
10.00	2,937	3,051	2,998	3,082	12,07	3,6	14,27	50,1	978,8	Cerah
10.30	2,995	3,1	3,044	3,131	12,27	3,4	14,37	54,6	1044,3	Cerah
11.00	3,075	3,145	3,082	3,178	12,48	3,4	14,48	57,1	1120,5	Cerah
11.30	3,096	3,164	3,125	3,211	12,6	3,5	14,37	56,2	1137,2	Cerah
12.00	3,185	3,24	3,194	3,285	12,9	2,7	14,48	48,2	1097,3	Cerah
12.30	3,233	3,298	3,238	3,312	13,08	2,7	14,44	45,2	1046	Berawan
13.00	3,31	3,341	3,276	3,381	13,31	3,5	14,58	46,7	1093,7	Cerah
13.30	3,355	3,379	3,318	3,416	13,47	2	13,96	42,7	1032,1	Cerah
14.00	3,37	3,42	3,365	3,425	13,58	2,1	14,56	42,9	1097,2	Cerah
14.30	3,411	3,451	3,405	3,441	13,71	2,7	14,65	48,8	744,3	Berawan
15.00	3,415	3,458	3,423	3,449	13,75	1,4	14,24	37,8	836,4	Cerah
15.30	3,444	3,455	3,426	3,461	13,79	0,7	13,83	34,1	533,1	Cerah
16.00	3,44	3,453	3,421	3,458	13,77	0,4	13,68	31,4	229,7	Cerah
16.30	3,446	3,452	3,422	3,46	13,78	0,2	13,53	29,6	107	Cerah
17.00	3,432	3,438	3,433	3,437	13,74	0,1	13,52	25,5	86,3	Cerah
17.30	3,432	3,438	3,433	3,437	13,74	0	10,52	24,9	2,7	Cerah
18.00	3,433	3,427	3,427	3,433	13,72	0	0,162	23,4	0	Cerah
18.30	3,433	3,427	3,427	3,433	13,72	0	0,056	23,6	0	Cerah

Tabel 2 Penyimpangan tegangan dengan passive balancing mengacu tabel 1

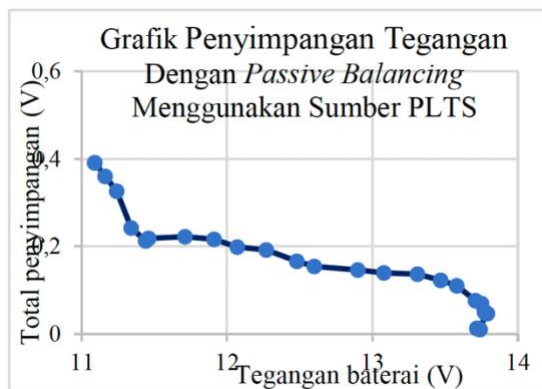
Jam	Menit (t)	Grup baterai (V)				Total (V)
		A	B	C	D	
05.30	0	0,196	0,0565	0,0225	0,1165	0,391
06.00	30	0,196	0,0565	0,0225	0,1165	0,391
06.30	60	0,18	0,045	0,035	0,1	0,36
07.00	90	0,163	0,039	0,023	0,101	0,326
07.30	120	0,121	0,018	0,022	0,081	0,242
08.00	150	0,104	0,033	0,002	0,073	0,212
08.30	180	0,0265	0,0825	0,0275	0,0815	0,218
09.00	210	0,076	0,038	0,035	0,073	0,222
09.30	240	0,054	0,041	0,054	0,067	0,216
10.00	270	0,08	0,034	0,019	0,065	0,198
10.30	330	0,0725	0,0325	0,0235	0,0635	0,192
11.00	360	0,045	0,025	0,038	0,058	0,166
11.30	390	0,053	0,015	0,024	0,062	0,154
12.00	420	0,041	0,014	0,032	0,059	0,146
12.30	450	0,03725	0,02775	0,03225	0,04175	0,139
13.00	480	0,017	0,014	0,051	0,054	0,136
13.30	510	0,012	0,012	0,049	0,049	0,122
14.00	540	0,025	0,025	0,03	0,03	0,11
14.30	570	0,016	0,024	0,022	0,014	0,076
15.00	600	0,02125	0,02175	0,01325	0,01275	0,069
15.30	630	0,0025	0,0085	0,0205	0,0145	0,046
16.00	660	0,003	0,01	0,022	0,015	0,05
16.30	690	0,001	0,007	0,023	0,015	0,046
17.00	720	0,003	0,003	0,002	0,002	0,01
17.30	750	0,003	0,003	0,002	0,002	0,01
18.00	780	0,003	0,003	0,003	0,003	0,012
18.30	810	0,003	0,003	0,003	0,003	0,012

Berdasarkan data yang telah didapatkan, dapat dihitung efisiensi penggunaan

passive balancing dengan persamaan berikut:

$$Efisiensi = \frac{(0,391 - 0,012)}{0,391} \times 100\% = \frac{(0,379)}{0,391} \times 100\% = 96,93\%$$

Hasil efisiensi dari penyimpangan tegangan adalah sebesar 96,93% yang ditampilkan dengan grafik pada gambar 1



Gambar 1 Penyimpangan tegangan baterai dengan passive balancing

Tabel 1 dan tabel 2 menyajikan data pengujian pengisian dan penyimpangan tegangan baterai tanpa menggunakan passive balancing dengan sumber PLTS.

### 3.1.2. PENGUJIAN CHARGING TANPA PASSIVE BALANCING

Tabel 3 Hasil pengujian charging tanpa passive balancing dengan sumber PLTS

Jam	Grup Baterai				Total (V)	Arus (A)	Tegangan SCC (V)	Suhu PV (°C)	Iradiasi (W/m²)	Cuaca
	A (V)	B (V)	C (V)	D (V)						
05.30	3,111	2,757	2,439	2,763	11,07	0	4,835	22,7	0,6	Mendung
06.00	3,111	2,757	2,439	2,763	11,07	0	11,14	23,8	4,2	Mendung
06.30	3,109	2,757	2,443	2,763	11,072	0,2	11,7	23,9	27,1	Mendung
07.00	3,11	2,759	2,462	2,765	11,096	0,4	12,16	23,7	62,2	Mendung
07.30	3,112	2,773	2,476	2,779	11,14	0,8	12,58	26,6	97,8	Mendung
08.00	3,12	2,798	2,482	2,804	11,204	0,9	12,81	28,4	264,8	Mendung
08.30	3,131	2,814	2,513	2,829	11,287	1,2	13,14	39,4	337	Mendung
09.00	3,109	2,836	2,563	2,888	11,396	2,3	13,73	36,9	400,7	Mendung
09.30	3,12	2,853	2,642	2,909	11,524	2,5	12,91	37,4	450	Mendung
10.00	3,011	2,975	2,719	2,993	11,698	2,5	13,43	40,6	476,8	Mendung
10.30	3,141	2,968	2,765	2,978	11,852	2,4	13,56	44,2	492,6	Mendung
11.00	3,105	3,051	2,79	3,078	12,024	1,9	13,52	42,3	375,5	Mendung
11.30	3,118	3,127	2,85	3,109	12,204	2,2	13,6	40,9	396	Mendung
12.00	3,184	3,162	2,885	3,173	12,404	2	13,69	43,2	380,9	Mendung
12.30	3,189	3,169	2,914	3,181	12,453	2	13,72	42,1	370,9	Mendung
13.00	3,316	3,228	2,96	3,272	12,776	2,1	13,6	36,7	344,7	Mendung
13.30	3,322	3,281	3,004	3,299	12,906	2	13,68	38,7	271	Mendung
14.00	3,361	3,332	3,068	3,329	13,09	2,1	13,68	37,3	236,2	Mendung
14.30	3,378	3,328	3,039	3,367	13,112	2,1	13,65	35,9	207,6	Mendung
15.00	3,353	3,348	3,075	3,346	13,122	1,4	13,6	34,7	154,9	Mendung
15.30	3,366	3,348	3,071	3,348	13,133	0,7	13,62	33,2	115,4	Mendung
16.00	3,366	3,35	3,072	3,348	13,131	0,4	13,52	31,2	71,4	Mendung
16.30	3,363	3,35	3,071	3,348	13,127	0,2	13,53	29,6	24,6	Mendung
17.00	3,357	3,349	3,071	3,343	13,12	0,1	13,52	25,5	19,1	Mendung
17.30	3,356	3,347	3,069	3,34	13,112	0	10,52	24,9	2,2	Mendung
18.00	3,356	3,347	3,069	3,34	13,112	0	0,162	23,4	0	Mendung
18.30	3,356	3,347	3,069	3,34	13,112	0	0,056	23,6	0	Mendung

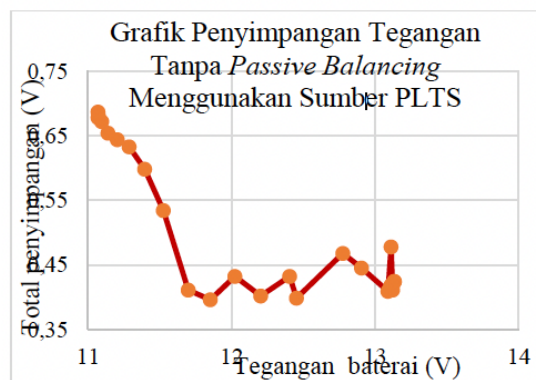
Tabel 4 Penyimpangan tegangan tanpa passive balancing mengacu tabel 3

Jam	Menit (t)	Grup baterai (V)				Total (V)
		A	B	C	D	
05.30	0	0,349	0,005	0,323	0,001	0,678
06.00	30	0,3435	0,0105	0,3285	0,0045	0,687
06.30	60	0,341	0,011	0,325	0,005	0,682
07.00	90	0,336	0,015	0,312	0,009	0,672
07.30	120	0,327	0,012	0,309	0,006	0,654
08.00	150	0,319	0,003	0,319	0,003	0,644
08.30	180	0,30925	0,00775	0,30875	0,00725	0,633
09.00	210	0,26	0,013	0,286	0,039	0,598
09.30	240	0,239	0,028	0,239	0,028	0,534
10.00	270	0,0865	0,0505	0,2055	0,0685	0,411
10.30	330	0,178	0,005	0,198	0,015	0,396
11.00	360	0,099	0,045	0,216	0,072	0,432
11.30	390	0,067	0,076	0,201	0,058	0,402
12.00	420	0,083	0,061	0,216	0,072	0,432
12.30	450	0,07575	0,05575	0,19925	0,06775	0,3985
13.00	480	0,122	0,034	0,234	0,078	0,468
13.30	510	0,0955	0,0545	0,2225	0,0725	0,445
14.00	540	0,0885	0,0595	0,2045	0,0565	0,409
14.30	570	0,1	0,05	0,239	0,089	0,478
15.00	600	0,0725	0,0675	0,2055	0,0655	0,411
15.30	630	0,08275	0,06475	0,21225	0,06475	0,4245
16.00	660	0,082	0,066	0,212	0,064	0,424
16.30	690	0,08	0,067	0,212	0,065	0,424
17.00	720	0,077	0,069	0,209	0,063	0,418
17.30	750	0,078	0,069	0,209	0,062	0,418
18.00	780	0,078	0,069	0,209	0,062	0,418
18.30	810	0,078	0,069	0,209	0,062	0,418

Untuk menghitung efisiensi pada pengisian tanpa menggunakan balancing dapat dihitung dengan persamaan 2.7 berikut.

$$Efisiensi = \frac{(0,678 - 0,418)}{0,678} \times 100\% = \frac{0,260}{0,678} \times 100\% = 38,34\%$$

Hasil efisiensi dari penyimpangan tegangan adalah sebesar 38,34% yang ditampilkan dengan grafik pada gambar 2



Gambar 2 Penyimpangan tegangan baterai tanpa passive balancing mengacu tabel 4

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini melibatkan pemilihan komponen utama, perencanaan kapasitas

baterai, integrasi sistem manajemen baterai (BMS), dan instalasi sistem yang efektif. Passive balancing bekerja dengan mengukur tegangan setiap grup baterai dan menyeimbangkannya menggunakan resistor untuk mengurangi tegangan pada sel dengan kapasitas lebih tinggi, mengalirkan kelebihan energi sebagai panas. Dengan sumber daya dari PLN, efisiensi pengisian menggunakan passive balancing mencapai 99,18% dan terendah 96,29%, sedangkan dengan PLTS, efisiensi tertinggi mencapai 96,93% dan terendah 93,25%. Meskipun memperpanjang durasi pengisian, penggunaan passive balancing tetap memberikan efisiensi lebih baik dibandingkan tanpa balancing.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Y. (2023) "New Energy Vehicle Powertrain Technology", in, pp. 95–182.
- Dzikron, M. S (2021) "Analisa Kinerja Baterai Berumur Lebih 10 Tahun Pada Gardu Induk Jepara 150 kV" Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Hilal, Y. N., Muliandhi, P., & Ardina, E. N. (2023). Analisa Balancing Bms (Battery Management System) Pada Pengisian Baterai Lithium-Ion Tipe Inr 18650 Dengan Metode Cut Off. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 14(2), 367-374.
- M. T. Afif and A. I. Putri Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride Pada Penggunaan Mobil Listrik" *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6 no.2, pp.95-99-2015
- M. Yunus, Hi. Abbas and P. Sardju (2022) "Perencanaan PLTS Off Grid Di Desa Tolonuo Selatan Kecamatan Tobelo Utara Kabupaten Halmahera Utara" *Jurnal Science and Engineering*, vol. 5 no.1
- Nurunnisa, D., & Thalib, F. (2022). Rancang Bangun Sistem Penyewaan Charging Elektronik Dengan Daya Panel Surya Berbasis Iot. *Jurnal Teknologi*, 9(2), 123-133.
- Oktaviani, H. (2013) "Sintesis dan Karakterisasi LifePO4 Dengan Variasi Waktu Sintering dan Komposisi Binder Sebagai Material Kathoda Untuk Baterai Sekunder Lithium." Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Panggabean, S. Y. (2017). Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan Teknik High Voltage PWM (Pulse Width Modulation).
- Perdana, A. Y. (2020). Analisis Efisiensi Solar Charger Controller Tipe PWM Dan MPPT Dengan Metode Simulasi. *Journal of Indonesian Social Studies Education*.
- Politeknik, N.S. and Lhokseumawe, N. (2019) "Buku Teknologi Photovoltaic Teuku Rihayat Politeknik Negeri Lhokseumawe".
- Rahmasari, F., Saputra, R. E., & Setianingsih, C. (2021). Penyeimbangan Sel Baterai Pada Smart House Menggunakan Metode Penyeimbangan Sel Pasif Berbasis Iot. *Eproceedings Of Engineering*, 8(5).
- Samaddar, N., Kumar, N. S., & Jayapragash, R. (2021). Passive Cell Balancing of Li-Ion Batteries Used for Automotive Applications. *Journal of Physics: Conference Series*, 1716, 012005. doi:10.1088/1742-6596/1716/1/012005.
- Samsurizal et al. (2021) Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).
- Saputra, A.A. et al. (2022) "Sistem Penyeimbang Baterai Dengan Single Storage Device Untuk Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) OFF GRID",

Prosiding Seminar Nasional Ilmu  
Teknik Dan Aplikasi Industri  
Fakultas Teknik Universitas  
Lampung.

Wattimena, S. J., Laisina, L. H., &  
Pelamonia, C. O. (2023). Analyzing  
And Designing Energy Storage  
System And Charging Station From  
Solar Energy-Lithium Ion.  
Indonesian Journal Of  
Multidisciplinary Science, 3(3),  
239-248.