

RANCANG BANGUN PENYIMPANAN DAYA PLTS KAPASITAS 160WP MENGGUNAKAN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS) ACTIVE BALANCING SEBAGAI PENYEIMBANG TEGANGAN PADA BATERAI

Oleh: Ghifary Reza Pahlevy¹, Mochammad Muqorrobin.², Eriko Arvin Karuniawan³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Kec Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah Email :
ixhghifaryrezapahlevy10@gmail.com

Abstrak

Baterai pack yang terdiri dari susunan beberapa baterai rentan mengalami penyimpangan tegangan, bila penyimpangan tegangan antara baterai satu dengan baterai yang lain terjadi dalam siklus pengisian dan pengosongan yang berulang-ulang maka dapat menyebabkan kerusakan pada baterai dan memperpendek masa pakai baterai. Penelitian ini bertujuan untuk memperkecil penyimpangan tegangan pada baterai pack yang menggunakan baterai LifePo4 pada sistem PLTS berkapasitas 160Wp dengan cara menambahkan Battery Management System (BMS) metode active balancing dengan kapasitas arus active balancing sebesar 5.5A. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini berupa studi literatur dari jurnal yang terkait dengan penelitian dan observasi langsung pada alat tugas akhir. Pengujian alat dilakukan dengan menguji pengisian baterai dan pengosongan baterai menggunakan active balancing dan tidak menggunakan active balancing untuk mengetahui dampak dari pemasangan active balancing terhadap keseimbangan tegangan baterai. Hasil pengujian dari penelitian ini mendapatkan penggunaan active balancing pada kondisi pengisian baterai menggunakan sumber PLN mampu menurunkan penyimpangan tegangan sebesar 0,289V dengan efisiensi keseimbangan tegangan baterai sebesar 98,97% sedangkan ketika pengisian dilakukan tanpa active balancing nilai efisiensi keseimbangan baterai hanya sebesar 75,26%. Pada kondisi pengosongan baterai, hasil yang didapatkan yaitu penggunaan active balancing tidak terlalu berdampak terhadap keseimbangan tegangan baterai saat proses pengosongan dimana pengosongan baterai ketika menggunakan active balancing mendapatkan efisiensi keseimbangan tegangan baterai sebesar 65,57% sedangkan pengosongan yang dilakukan tanpa active balancing justru mendapat efisiensi yang sedikit lebih baik yakni 65,84%. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa active balancing yang terpasang mampu mengurangi penyimpangan tegangan baterai pack dan sesuai dengan hipotesis.

Kata kunci: Baterai pack, Active balancing, PLTS, BMS

1. PENDAHULUAN

Melalui siaran pers Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) nomor:130.Pers/04/SJI/2024 menerbitkan aturan mengenai “Aturan Terbaru PLTS Atap Terbit, Kini Kapasitas Pemasangan Tidak Dibatasi” yang tertuang pada peraturan Nomor 2 Tahun 2024. Pemerintah memandang implementasi regulasi PLTS atap belum mencapai potensi optimalnya, oleh karena itu program PLTS atap diharapkan dapat mendorong tumbuhnya industri modul surya di Indonesia dan mendukung rencana pembangunan industri hulu *solar cell*. Melalui program PLTS Atap, pemerintah mengajak masyarakat ikut berkontribusi secara langsung dalam pemanfaatan energi hijau, serta meningkatkan kesadaran dalam melakukan efisiensi energi khususnya di siang hari dengan mamaksimalkan energi dari PLTS atap.

(Syahwil and Kadir, 2021) Saat ini, baterai merupakan cara paling praktis untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS melalui reaksi elektrokimia. Baterai merupakan salah satu komponen penting sekaligus rentan dalam sistem PLTS khususnya PLTS off-grid. Baterai memiliki keterbatasan umur yang bergantung pada perilaku penggunaan serta temperatur pengoperasian. Peningkatan umur siklus baterai adalah fokus utama dalam pengembangan baterai yang lebih tahan lama. Serangkaian penggabungan baterai atau yang sering dikenal dengan istilah baterai pack memiliki kelemahan dimana tegangan sel baterai tidak seimbang antara baterai satu dengan baterai lainnya saat proses pengisian maupun pengosongan. Ketidakseimbangan tegangan pada baterai pack dalam siklus pengisian dan pengosongan yang berulang-ulang memungkinkan baterai yang memiliki

tegangan paling rendah mengalami level pengosongan yang jauh lebih tinggi (*over discharging*) dan level pengisian yang lebih rendah sedangkan baterai yang memiliki tegangan tertinggi dapat mengalami level pengosongan yang lebih rendah dan level pengisian yang jauh lebih tinggi (*over charging*) sehingga dalam kurun waktu tertentu hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada baterai yang nantinya akan berimbas pada turunya performa baterai secara keseluruhan.

Battery Management System (BMS) merupakan sistem yang dirancang untuk mengoptimalkan kinerja baterai dengan cara mengontrol dan mengelola sel baterai tak terkecuali menyeimbangkan setiap sel baterai dalam baterai pack untuk memperpanjang umur baterai. Pada BMS dikenal metode *active balancing* yang merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk memastikan bahwa setiap sel baterai pada baterai pack memiliki tegangan yang seimbang atau seragam dengan cara mengalihkan atau mendistribusikan energi baterai secara aktif dari sel-sel baterai yang memiliki muatan lebih tinggi ke sel-sel baterai yang memiliki muatan lebih rendah. Tujuan utama dari penyeimbangan oleh *active balancing* adalah keseimbangan tegangan setiap sel baterai sehingga dapat membawa dampak masa pakai baterai yang lebih panjang serta meningkatkan efisiensi penggunaan baterai.

2. METODE PENELITIAN

2.1. TAHAPAN PENELITIAN

Tahapan rencana penelitian tentang rancang bangun Penyimpanan Daya PLTS menggunakan BMS ini akan dijelaskan secara tahap demi tahap lalu dirangkum dalam suatu diagram alir (flowchart) pada Gambar 1.

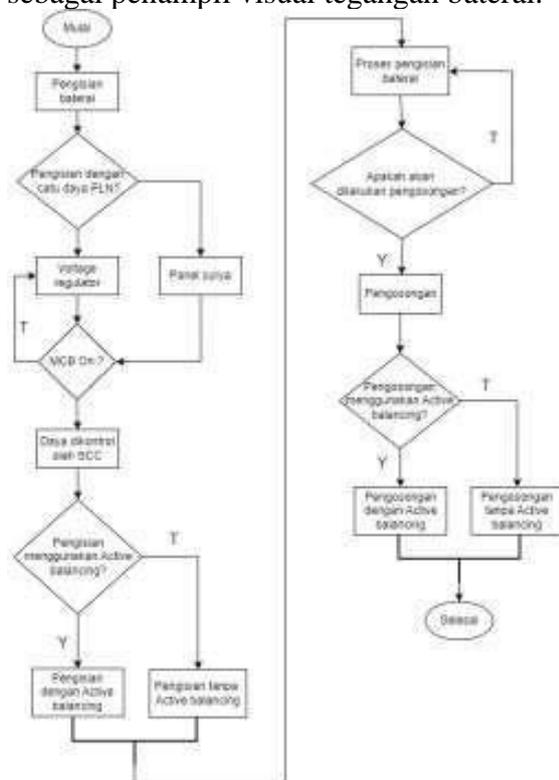


Gambar 1 Flowchart Tahapan Penelitian

Pada tahap awal penelitian ini dilakukan studi literatur untuk menggunakan *Battery Management System (BMS) Active Balancing* Sebagai Penyeimbang Tegangan Pada Baterai” penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk mengetahui dampak *Active Balancing* terhadap keseimbangan baterai, dan mengumpulkan dan meninjau literatur yang relevan. Setelah memiliki pemahaman yang kuat dilakukan tahapan perencanaan untuk menentukan metodologi penelitian, termasuk perancangan eksperimen, teknik pengumpulan data, dan pemilihan alat yang diperlukan untuk penelitian. Tahap perakitan alat melibatkan perakitan dan pengujian awal untuk memastikan bahwa semua peralatan berfungsi dengan baik. Setelah perakitan selesai, tahap pengujian dilakukan untuk memastikan kesesuaian sistem kerja alat dengan kebutuhan penelitian. Setelah alat dinyatakan sesuai dilakukan pengambilan sesuai dengan metode yang telah direncanakan. Data yang telah terkumpul kemudian dianalisis dan disusun dalam bentuk laporan pada tahap penyusunan laporan.

2.2. PERANCANGAN PENYIMPANAN DAYA PLTS MENGGUNAKAN BMS ACTIVE BALANCING

Pada penelitian ini perancangan penyimpanan daya dilakukan dengan menambahkan BMS tipe active balancing pada baterai PLTS. BMS active balancing yang telah dihubungkan dengan baterai akan membaca tegangan per sel baterai untuk dibaca SOC nya. Jika diindikasikan adanya penyimpangan tegangan baterai dengan nilai penyimpangan yang melebihi ambang batas, BMS active balancing akan menyeimbangkan baterai hingga nilai penyimpangan tegangan menurun sejauh nilai yang tertera pada data sheet. Inverter selaku pengubah tegangan DC- AC dari baterai akan menyediakan suplai untuk beban. Voltmeter pada sistem ini berfungsi sebagai penampil visual tegangan baterai.



Gambar 2 Flowchart Sistem Penyimpanan Daya PLTS

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan yang diuraikan merupakan implementasi dari tahap perancangan yang telah disusun sebelumnya. Hasil perancangan panel surya

sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya dengan kapasitas 160 Wp, unit panel surya yang digunakan yaitu 1 unit panel, dengan pemasangan kemiringan sudut panel surya menyesuaikan kemiringan atap dan. Penyimpanan daya yang digunakan adalah baterai dengan jenis LifePO4 dengan kapasitas 6Ah sebanyak 24 buah yang disusun secara seri-paralel.

3.1. HASIL PERANCANGAN ALAT

Hasil dari perancangan alat berupa box panel sejumlah 2 buah yang digunakan untuk kontrol sistem dan tempat penyimpanan baterai. Komponen yang digunakan seperti solar charge controller, Inverter, MCB, beserta tata letaknya dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Penggunaan jenis komponen dan tata letak komponen adalah hasil dari perancangan yang dilakukan sebelumnya.



Gambar 3 Hasil Perancangan Panel Box



Gambar 4 Hasil Perancangan Panel Box

3.2. PENGUJIAN PENGISIAN BATERAI

Pengujian ini untuk mengetahui dampak active balancing terhadap penurunan penyimpangan tegangan pada baterai pack PLTS serta kenaikan tegangan baterai selama pengisian menggunakan modul panel surya 160Wp. Data pengujian ini merupakan input pengisian baterai meliputi data iradiasi, temperatur panel surya, tegangan pada solar charge controller, tegangan baterai, dan arus pengisian baterai. Tabel 1 menunjukkan data pengisian baterai yang dilakukan dengan mengaktifkan active balancing selama proses pengisian.

Tabel 1 Pengisian baterai menggunakan active balancing

Jam	Grup Baterai				Total (V)	Arus (A)	Tegangan SCC (V)	Suhu PV (°C)	Iradiasi (W/m ²)	Cuaca
	A (V)	B (V)	C (V)	D (V)						
05.30	2,694	2,849	2,668	2,857	11,068	0	4,835	22,7	0,6	Cerah
06.00	2,694	2,849	2,668	2,857	11,068	0	11,14	23,8	8,6	Cerah
06.30	2,742	2,807	2,715	2,844	11,108	0,2	11,7	23,9	41,3	Cerah
07.00	2,754	2,84	2,728	2,866	11,188	0,4	12,16	23,7	88,2	Cerah
07.30	2,777	2,867	2,772	2,892	11,308	0,8	12,58	26,6	180,4	Cerah
08.00	2,873	2,965	2,864	2,974	11,676	0,9	12,81	28,4	647,1	Cerah
08.30	3,044	3,054	2,905	3,057	12,06	1,2	13,14	39,4	794,4	Cerah
09.00	3,193	3,269	3,164	3,298	12,924	3,8	13,73	51,4	990,8	Cerah
09.30	3,258	3,332	3,232	3,358	13,18	2,9	13,97	50,6	843,5	Cerah
10.00	3,331	3,383	3,311	3,423	13,448	3,6	14,27	50,1	802	Cerah
10.30	3,349	3,398	3,325	3,424	13,496	3,4	14,37	54,6	988,1	Cerah
11.00	3,382	3,342	3,389	3,483	13,526	3,4	14,48	57,1	1044,3	Cerah
11.30	3,412	3,445	3,382	3,46	13,697	3,5	14,37	56,2	1038	Cerah
12.00	3,415	3,447	3,398	3,464	13,724	2,7	14,48	48,2	799,1	Berawan
12.30	3,418	3,447	3,408	3,458	13,732	2,7	14,44	45,2	733,7	Berawan
13.00	3,418	3,438	3,421	3,459	13,716	3,5	14,58	46,7	853,3	Cerah
13.30	3,427	3,435	3,418	3,464	13,764	2	13,96	42,7	561,5	Berawan
14.00	3,429	3,437	3,423	3,461	13,77	2,1	14,56	42,9	801,2	Cerah
14.30	3,432	3,462	3,427	3,467	13,788	2,7	14,65	48,8	736,4	Cerah
15.00	3,43	3,462	3,43	3,462	13,784	1,4	14,24	37,8	240,6	Cerah
15.30	3,438	3,447	3,436	3,464	13,785	0,7	13,83	34,1	109,9	Cerah
16.00	3,44	3,433	3,436	3,437	13,786	0,4	13,68	31,4	101	Cerah
16.30	3,439	3,452	3,432	3,453	13,776	0,2	13,53	29,6	33,9	Cerah
17.00	3,432	3,45	3,437	3,445	13,764	0,1	13,52	25,5	27,9	Cerah
17.30	3,433	3,445	3,433	3,445	13,756	0	10,52	24,9	3,9	Cerah
18.00	3,433	3,443	3,432	3,444	13,752	0	0,162	23,4	0	Cerah
18.30	3,438	3,436	3,433	3,445	13,752	0	0,056	23,6	0	Cerah
19.00	3,438	3,436	3,434	3,444	13,752	0	0,053	22,6	0	Cerah

Dari pengujian diatas, diketahui bahwa pengujian dilakukan mulai pukul 05.30 hingga 19.00 menghasilkan kenaikan baterai yang semula 11,068V menjadi 13,752V. Pada pengujian ini data yang didapatkan dipengaruhi oleh besaran daya yang dihasilkan oleh panel surya. Tabel 2 menunjukkan penurunan penyimpangan tegangan baterai selama proses pengisian dengan mengaktifkan active balancing.

Tabel 2 Penurunan penyimpangan tegangan baterai

Menit	Penyimpangan tegangan pada interval waktu 30 menit				
	A (V)	B (V)	C (V)	D (V)	Total (V)
0	0,073	0,082	0,099	0,08	0,344
10	0,073	0,082	0,099	0,08	0,344
20	0,035	0,03	0,062	0,067	0,194
30	0,043	0,043	0,069	0,069	0,224
40	0,03	0,04	0,055	0,063	0,21
50	0,046	0,046	0,055	0,055	0,202
60	0,029	0,039	0,11	0,042	0,22
70	0,038	0,038	0,067	0,067	0,21
80	0,037	0,037	0,063	0,063	0,2
90	0,031	0,021	0,051	0,061	0,164
100	0,025	0,024	0,049	0,05	0,148
110	0,0005	0,0395	0,0325	0,0515	0,104
110	0,01225	0,01875	0,04225	0,03775	0,109
120	0,016	0,016	0,033	0,033	0,098
130	0,014	0,014	0,025	0,023	0,078
140	0,021	0,019	0,018	0,02	0,078
150	0,014	0,014	0,023	0,023	0,074
160	0,0133	0,0143	0,0193	0,0183	0,066
170	0,015	0,013	0,02	0,02	0,07
180	0,016	0,016	0,016	0,016	0,064
190	0,00825	0,00075	0,01025	0,01775	0,037
200	0,0085	0,0085	0,0103	0,0103	0,034
210	0,005	0,008	0,012	0,009	0,034
220	0,009	0,009	0,004	0,004	0,026
230	0,006	0,006	0,006	0,006	0,024
240	0,005	0,005	0,006	0,006	0,022
250	0	0,002	0,005	0,007	0,014
260	0	0,002	0,004	0,006	0,012

Berhasilan data pengujian didapatkan bahwa penggunaan active balancing mampu menurunkan penyimpangan tegangan baterai selama proses pengisian yang semula 0,344V menjadi 0,012V. Penurunan penyimpangan tersebut berdampak pada kondisi tegangan baterai pack yang mendekati seimbang. Sebagai bahan perbandingan, dilakukan pengujian pengisian baterai tanpa mengaktifkan *active balancing*. Dapat dilihat pada Tabel 3 proses pengisian baterai tanpa menggunakan active balancing.

Tabel 3 pengisian baterai tanpa mengaktifkan active balancing.

Jam	Grup Baterai				Total (V)	Arus (A)	Tegangan SCC (V)	Suhu PV (°C)	Iradiasi (W/m ²)	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	Merahang
06.00	3,111	2,757	2,439	2,763	11,07	0	11,14	23,8	4,2	Merahang
06.30	3,09	2,757	2,443	2,763	11,072	0,2	11,7	23,9	27,1	Merahang
07.00	3,11	2,759	2,462	2,763	11,096	0,4	12,16	23,7	62,3	Merahang
07.30	3,112	2,773	2,476	2,779	11,14	0,8	12,58	26,6	97,8	Merahang
08.00	3,12	2,798	2,482	2,804	11,204	0,9	12,81	28,4	264,8	Merahang
08.30	3,131	2,814	2,513	2,829	11,287	1,2	13,14	39,4	367	Merahang
09.00	3,109	2,836	2,563	2,888	11,396	2,8	13,73	51,4	400,7	Merahang
09.30	3,12	2,853	2,642	2,909	11,524	2,5	12,91	37,4	450	Merahang
10.00	3,011	2,975	2,719	2,993	11,698	2,5	13,43	40,6	476,8	Merahang
10.30	3,141	2,988	2,765	2,978	11,852	2,4	13,56	44,2	492,6	Merahang
11.00	3,405	3,051	2,79	3,078	12,024	1,9	13,52	42,3	375,3	Merahang
11.30	3,118	3,127	2,85	3,100	12,204	2,2	13,6	40,9	396	Merahang
12.00	3,184	3,162	2,883	3,173	12,404	2	13,69	43,2	380,9	Merahang
12.30	3,189	3,189	2,914	3,181	12,451	2	13,72	42,1	370,9	Merahang
13.00	3,316	3,228	2,96	3,272	12,778	2,1	13,6	36,7	344,7	Merahang
13.30	3,322	3,281	3,004	3,290	12,906	2	13,68	38,7	271	Merahang
14.00	3,361	3,332	3,008	3,329	13,08	2,1	13,68	37,3	236,2	Merahang
14.30	3,378	3,328	3,039	3,367	13,112	2,1	13,65	35,9	207,6	Merahang
15.00	3,353	3,348	3,075	3,346	13,122	1,4	13,6	34,7	154,9	Merahang
15.30	3,369	3,348	3,071	3,348	13,133	0,7	13,62	33,2	115,4	Merahang
16.00	3,366	3,35	3,072	3,348	13,131	0,4	13,52	31,2	71,4	Merahang
16.30	3,363	3,35	3,071	3,348	13,127	0,2	13,53	29,6	24,6	Merahang
17.00	3,357	3,349	3,071	3,345	13,12	0,1	13,52	25,5	19,1	Merahang
17.30	3,350	3,347	3,069	3,34	13,112	0	10,52	24,9	2,2	Merahang
18.00	3,356	3,347	3,069	3,34	13,112	0	0,162	23,4	0	Merahang
18.30	3,356	3,347	3,069	3,34	13,112	0	0,058	23,6	0	Merahang
19.00	3,356	3,347	3,069	3,34	13,112	0	0,053	22,6	0	Merahang

Dari pengujian diatas, diketahui bahwa pengujian dilakukan mulai pukul 05.30 hingga 19.00 menghasilkan kenaikan baterai yang semula 11,07V menjadi 13,112V. Pada pengujian ini data yang didapatkan dipengaruhi oleh besaran daya yang dihasilkan oleh panel surya. Tabel 4 menunjukkan penurunan penyimpangan tegangan baterai selama proses pengisian dengan mengaktifkan active balancing.

Tabel 4 Penurunan penyimpangan tegangan baterai

Menit	Penyimpangan tegangan pada interval waktu 30 menit				Total (V)
	A (V)	B (V)	C (V)	D (V)	
0	0,349	0,005	0,323	0,001	0,678
10	0,3435	0,0105	0,3285	0,0045	0,687
20	0,341	0,011	0,325	0,005	0,682
30	0,336	0,015	0,312	0,009	0,672
40	0,327	0,012	0,309	0,006	0,654
50	0,319	0,003	0,319	0,003	0,644
60	0,30925	0,00775	0,30875	0,00725	0,633
70	0,26	0,013	0,286	0,039	0,598
80	0,239	0,028	0,239	0,028	0,534
90	0,0885	0,0505	0,2055	0,0685	0,411
100	0,178	0,005	0,198	0,015	0,396
110	0,099	0,045	0,216	0,072	0,432
110	0,067	0,076	0,201	0,038	0,402
120	0,083	0,061	0,216	0,072	0,432
130	0,07575	0,05575	0,19925	0,06775	0,3985
140	0,122	0,034	0,234	0,078	0,468
150	0,0955	0,0545	0,2225	0,0725	0,445
160	0,0885	0,0595	0,2045	0,0565	0,409
170	0,1	0,05	0,239	0,089	0,478
180	0,0725	0,0675	0,2055	0,0655	0,411
190	0,08275	0,06475	0,21225	0,06475	0,4245
200	0,082	0,068	0,212	0,064	0,424
210	0,08	0,067	0,212	0,065	0,424
220	0,077	0,069	0,209	0,063	0,418
230	0,078	0,069	0,209	0,062	0,418
240	0,078	0,069	0,209	0,062	0,418
250	0,078	0,069	0,209	0,062	0,418
260	0,078	0,069	0,209	0,062	0,418

Berhasilan data pengujian didapatkan bahwa pengisian baterai tanpa active balancing mampu menurunkan penyimpangan tegangan baterai selama proses pengisian yang semula 0,678V menjadi 0,418V. Walaupun terjadi penurunan penyimpangan tegangan, namun penyimpangan tegangan masih tergolong besar bila dibandingkan dengan pengisian yang dilakukan dengan mengaktifkan active balancing.

3.3. PENGUJIAN PENGOSONGAN BATERAI.

Pengujian pengosongan ini berfungsi untuk mengetahui dampak active balancing terhadap penurunan penyimpangan tegangan baterai dalam kondisi pengosongan. Data pengosongan meliputi

tegangan baterai, waktu pengosongan dan arus pengosongan.

Tabel 5 menunjukkan data pengosongan baterai dengan mengaktifkan active balancing selama proses pengosongan.

Tabel 5 Pengosongan baterai menggunakan active balancing

Menit	Jam	Grup Baterai				Total (V)	Arus (A)	Teg. Input Inverter (V)
		A (V)	B (V)	C (V)	D (V)			
0	07.35	3,662	3,378	3,428	3,378	13,84	12,1	11,69
10	07.45	3,266	3,225	3,281	3,274	13,06	11,8	11,42
20	07.55	3,256	3,233	3,272	3,263	13,02	11,8	11,39
30	08.05	3,244	3,221	3,261	3,251	12,97	11,6	11,32
40	08.15	3,232	3,215	3,251	3,241	12,93	11,6	11,29
50	08.25	3,223	3,207	3,245	3,236	12,9	11,4	11,23
60	08.35	3,207	3,202	3,24	3,23	12,87	11,4	11,18
70	08.45	3,191	3,193	3,233	3,223	12,83	11,3	11,14
80	08.55	3,172	3,181	3,224	3,214	12,78	11,4	11,11
90	09.05	3,143	3,164	3,211	3,201	12,71	11,3	11,05
100	09.15	3,11	3,142	3,19	3,183	12,61	11,0	10,9
110	09.25	3,084	3,128	3,163	3,166	12,53	11,7	10,83
120	09.35	3,046	3,097	3,129	3,139	12,4	11,6	10,7
130	09.45	3,009	3,047	3,061	3,101	12,2	11,5	10,56
140	09.55	2,953	2,956	2,892	3,024	11,81	11,2	10,23
140	10.04					11,48		

Berdasarkan data pengujian diatas, pengosongan baterai menggunakan active balancing mampu menyuplai daya beban dengan kapasitas 350Watt selama 149 menit. Dengan penurunan tegangan baterai yang semula 13,84V menjadi 11,48V. Penurunan penyimpangan tegangan selama proses pengosongan baterai menggunakan active balancing dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Penurunan penyimpangan tegangan baterai.

Menit	Grup Baterai				Total (V)
	A (V)	B (V)	C (V)	D (V)	
0	0,202	0,082	0,032	0,082	0,398
10	0,001	0,015	0,016	0,009	0,041
20	0,001	0,022	0,017	0,008	0,048
30	0,002	0,021	0,019	0,009	0,051
40	0	0,017	0,019	0,009	0,045
50	0,002	0,038	0,02	0,011	0,051
60	0,01	0,015	0,023	0,013	0,061
70	0,016	0,014	0,026	0,016	0,072
80	0,023	0,014	0,029	0,019	0,083
90	0,034	0,013	0,034	0,024	0,105
100	0,042	0,01	0,038	0,031	0,121
110	0,048	0,004	0,031	0,034	0,117
120	0,054	0,003	0,029	0,039	0,125
130	0,041	0,003	0,011	0,051	0,106
140	0,001	0,004	0,06	0,072	0,137

Berhasilan data pengujian didapatkan bahwa penggunaan active balancing mampu menurunkan penyimpangan tegangan baterai selama proses pengosongan baterai yang semula 0,398V menjadi 0,137V. Walaupun terjadi penurunan penyimpangan tegangan, namun penyimpangan tegangan masih tergolong

cukup besar. Sebagai bahan perbandingan, dilakukan pengujian pengisian baterai tanpa mengaktifkan *active balancing*. Dapat dilihat pada Tabel 7 proses pengisian baterai tanpa menggunakan *active balancing*.

Tabel 7 Pengosongan tanpa menggunakan *active balancing*

Menit	Jum	Grup Baterai				Total (V)	Arus (A)	Teg. Input Inverter (V)
		A (V)	B (V)	C (V)	D (V)			
0	21.05	3,704	3,369	3,375	3,375	13,823	13,8	12,46
10	21.15	3,269	3,256	3,278	3,279	13,082	13,8	12,22
20	21.25	3,26	3,24	3,267	3,263	13,03	13,8	12,16
30	21.35	3,249	3,226	3,231	3,247	12,973	13,7	12,09
40	21.45	3,238	3,221	3,241	3,241	12,941	13,8	12,06
50	21.55	3,227	3,214	3,234	3,234	12,909	13,8	12
60	22.05	3,214	3,206	3,229	3,226	12,875	13,7	11,97
70	22.15	3,199	3,194	3,221	3,216	12,83	13,6	11,9
80	22.25	3,185	3,18	3,21	3,204	12,779	13,6	11,85
90	22.35	3,167	3,159	3,192	3,189	12,707	13,5	11,78
100	22.45	3,143	3,133	3,167	3,171	12,614	13,4	11,68
110	22.55	3,113	3,088	3,136	3,143	12,482	13,3	11,58
120	23.05	3,077	3,026	3,09	3,106	12,299	13,1	11,4
130	23.15	2,998	2,91	2,966	3,045	11,919	10,9	11,05
140	23.25					10,86		

Berdasarkan data pengujian diatas, pengosongan baterai menggunakan *active balancing* mampu menyuplai daya beban dengan kapasitas 350Watt selama 140 menit. Dengan penurunan tegangan baterai yang semula 13,823V menjadi 10,86V. Tabel 8 menunjukkan penurunan penyimpangan tegangan baterai tanpa menggunakan *active balancing* selama proses pengosongan baterai.

Tabel 8 Penurunan penyimpangan tegangan baterai

Menit	Grup Baterai				Total (V)
	A (V)	B (V)	C (V)	D (V)	
0	0,252	0,083	0,077	0,077	0,489
10	0,002	0,011	0,011	0,012	0,036
20	0,005	0,015	0,012	0,008	0,04
30	0,009	0,014	0,011	0,007	0,041
40	0,006	0,011	0,009	0,009	0,035
50	0	0,013	0,007	0,007	0,027
60	0,003	0,011	0,012	0,009	0,035
70	0,006	0,011	0,016	0,011	0,044
80	0,007	0,012	0,018	0,012	0,049
90	0,009	0,017	0,016	0,013	0,055
100	0,01	0,02	0,014	0,018	0,062
110	0,007	0,032	0,016	0,025	0,08
120	0,007	0,044	0,02	0,036	0,107
130	0,026	0,062	0,006	0,073	0,167

Berhasilan data pengujian didapatkan bahwa pengosongan baterai yang dilakukan tanpa menggunakan *active balancing* mampu menurunkan penyimpangan tegangan baterai selama proses pengisian yang semula 0,489V tergolong besar bila dibandingkan dengan pengisian yang

dilakukan dengan mengaktifkan *active balancing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A.N. et al. (2021) 'Rancang Bangun Off-Grid System Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Sebagai Modul Pembelajaran Bagi Mahasiswa Universidade Oriental De Timor Lorosa'e (UNITAL)', Prosiding SNAPP: Sosial Humaniora, Pertanian, Kesehatan dan Teknologi, 1(1), pp. 349–359.
- Alfanz, R. et al. (2015) 'Rancang Bangun Penyedia Energi Listrik Tenaga Hibrida (PLTS-PLTB- PLN) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal', 4(2).
- Dzikron, M.S. (2021) 'Analisa Kinerja Baterai Berumur Lebih 10 Tahun Pada Gardu Induk Jepara 150 Kv'. Universitas Sultan Agung
- Friansa, K. et al. (2017) 'Battery module performance improvement using active cell balancing system based on Switched-Capacitor Boost Converter (S-CBC)', in 2017 4th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT), pp. 93–99.
- Goka, S. et al. (2023) Battery management system for electric vehicles, The Future of Road Transportation: Electrification and Automation. Singapore: Springer Nature Singapore (Key Technologies on New Energy Vehicles).
- Lubudi, M.N.H. (2020) 'Rancang Bangun Battery Management System Active Balancing Pada Baterai LI-ION 12V 2, 5Ah'
- Naim, M. (2020) 'Rancangan Sistem Kelistrikan Plts Off Grid 1000 Watt Di Desa Loeha Kecamatan Towuti', Vertex Elektro, 12(1), pp. 17–25.
- Perișoară, L.A. et al. (2019) 'Active Balancing for Efficient Management of a 4S1P LiFePO4

- Battery Pack’, in 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), pp. 1–6.
- Reynaud, J.F. et al. (2011) ‘Active balancing circuit for advanced lithium-ion batteries used in photovoltaic application’, *Renewable Energy and Power Quality Journal*, pp. 1423–1428