

Analisis Penggunaan Baterai *Lead Acid* dan *Lithium Ion* dengan Sumber Solar Panel

WAHYU SETYO PAMBUDI, RIZA AGUNG FIRMANSYAH, TITIEK SUHETA,
NUR KUKUH WICAKSONO

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhitama Surabaya (ITATS), Indonesia
Email: wahyusp@itats.ac.id

Received 10 Februari 2023 | *Revised* 6 Maret 2023 | *Accepted* 11 Maret 2023

ABSTRAK

Baterai merupakan bagian penting dari sistem PLTS off-grid. Kendala yang sering terjadi pada baterai adalah siklus yang pendek dan rugi-rugi karena pengaruh internal resistance sehingga tidak optimal pada saat charging atau discharging. Pada penelitian ini dilakukan pengujian untuk membandingkan karakteristik jenis baterai Lead-Acid 12 Ah dan baterai Lithium-Ion 12 Ah pada sistem Off-Grid panel surya 120 Wp. Pengujian charging maksimal 5 jam, discharging dengan beban adjustable resistor 12 Ohm dengan maksimal pengujian 12 jam (Cut Off). Metode yang digunakan adalah modified Coulomb Counting, dan Pendekatan SoC dengan Simulasi Constant Current. Berdasarkan hasil penelitian, untuk menjaga siklus hidup baterai, waktu terbaik untuk mencegah deep discharge, SoC baterai Lead-Acid 57,833% dan Lithium-Ion 42,839%. Charging baterai Lead Acid memiliki Constant Voltage 13,1 V dan baterai Lithium Ion memiliki Constant Current 2,4 A, saat discharging.

Kata kunci: *Lead Acid, Lithium Ion, modified Coulomb Counting, SoC.*

ABSTRACT

Batteries are an important part of the off-grid PLTS system. Constraints that often occur in batteries are short cycles and losses due to the influence of internal resistance so it is not optimal when charging or discharging. In this study, a test was conducted to compare the characteristics of a 12 Ah Lead-Acid battery and a 12 Ah Lithium-Ion battery in a 120 Wp off-grid solar panel system. Maximum charging test of 5 hours, Discharging with a 12 Ohm adjustable resistor load with a maximum of 12 hours of testing (Cut Off). The method used is modified Coulomb Counting and SoC Approach with Constant Current Simulation. Based on the research results, to maintain the life cycle of the battery, the best time to prevent deep discharge, SoC is 57.833% Lead-Acid battery and 42.839% Lithium-Ion battery. Charging Lead Acid batteries has a Constant Voltage of 13.1 V and Lithium on batteries have a Constant Current of 2.4 A when discharging.

Keywords: *Lead Acid, Lithium Ion, modified Coulomb Counting, SoC.*

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar sistem pemenuhan kebutuhan listrik di Indonesia masih sangat bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil untuk menghasilkan listrik. Pemerintah telah melakukan upaya untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil untuk produksi listrik dan beralih ke energi baru dan terbarukan (EBT) dengan dikeluarkannya aturan Kebijakan Energi Nasional. Partisipasi pemerintah dalam pengelolaan energi nasional sangat penting untuk keberlanjutan pasokan energi yang aman, andal, dan ramah lingkungan di dalam negeri (**Rizaldi, dkk, 2022**). Pada UU No. 30/2009 tentang Ketenagalistrikan, pasal 28 dan 29 disebutkan bahwa selaku pemegang izin usaha penyedia tenaga listrik. Selain kebutuhan tambahan kapasitas pembangkit, sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan dan komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, pengembangan sektor kelistrikan juga ditujukan untuk memenuhi target bauran energi. Sesuai Kebijakan Energi Nasional (KEN) (**Limuria, 2020**). Porsi target bauran EBT akan terus ditingkatkan mencapai 23% pada 10 tahun kedepan tentunya di tahun 2025 (**Faturahman, 2021**).

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ada dua jenis, yaitu *On Grid* dan *Off Grid*. Sistem *On Grid* terhubung dengan jaringan listrik secara langsung sehingga mampu digunakan secara optimal pada saat iradiasi yang maksimal. Hal ini berbeda dengan sistem *Off Grid*, di mana sistem ini mengirim energi ke baterai sehingga dapat digunakan saat malam hari atau membantu daya berlebih (**Gumintang, dkk, 2020**).

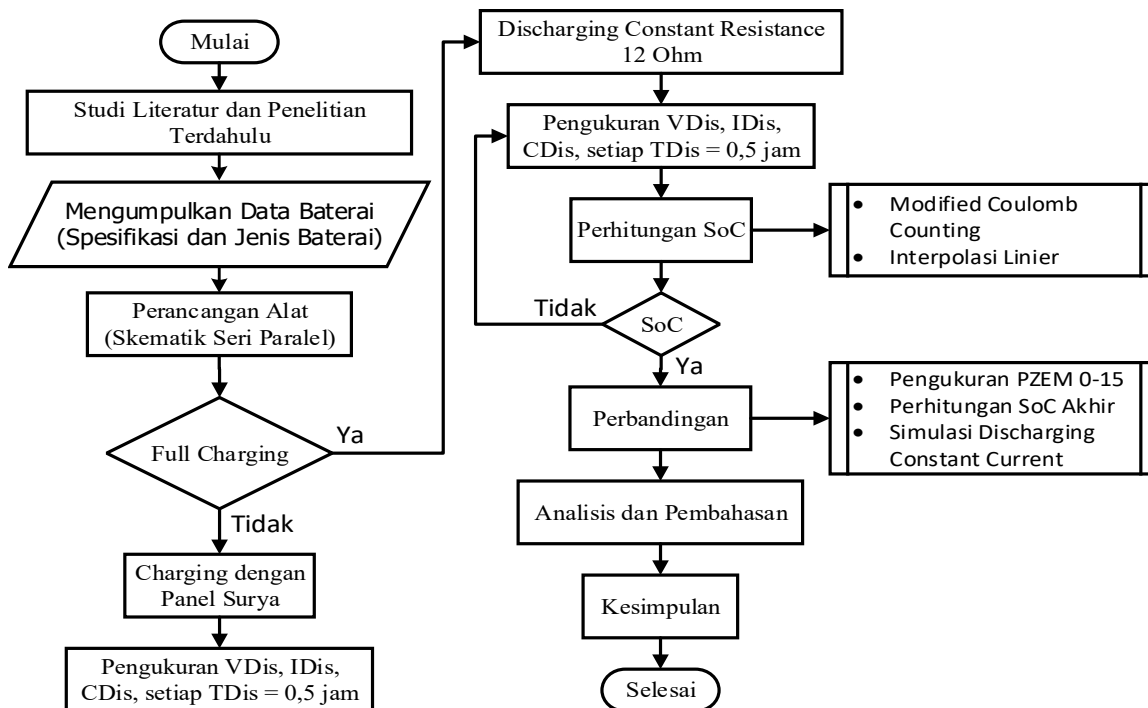
Ada beberapa baterai yang cocok untuk dijadikan sebagai *Energy Storage System* (ESS) dalam sistem PLTS. Pada penelitian PLTS Baterai yang digunakan jenis *Lead Acid* dan Baterai *Lithium Ion*, di mana masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahannya. Pemilihan jenis baterai untuk PLTS cukup rumit, karena perlu mempertimbangkan kapasitas baterai, tegangan keluaran, DoD (*Depth of Discharge*), SoC (*State of Charge*) dan masih banyak lagi (**Danko, dkk, 2019**). Pemilihan baterai yang diusulkan pada penelitian bergantung pada pemilihan baterai dan DoD yang tepat, pengoperasian sebagai ESS yang tepat dan stabil bisa diperoleh (**Won, dkk, 2015**). SoC baterai dapat diprediksi dengan cara yang berbeda yaitu menghitung efek Peukert dan menghitung efisiensi pengisian masing-masing baterai. Berdasarkan hasil percobaan diketahui bahwa energi yang disimpan dalam baterai memiliki kedalaman yang berbeda (**Leksono, dkk, 2013**), sehingga jika memahami kondisi baterai maka akan kecil kemungkinan kesalahan bisa dihindari (**Sianipar, 2017**). Baterai yang berkualitas baik jika penggunaannya tidak sesuai ketentuan seperti terjadinya *overcharge*, maka hal ini dapat mempengaruhi umur baterai dan cenderung cepat rusak. Kondisi kontrol beban yang tidak seimbang serta beban yang melebihi kapasitas dapat mengakibatkan baterai cepat rusak.

Berdasarkan hal tersebut perlu adanya pengetahuan tentang perawatan baterai agar energi listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan dengan maksimal pada penyimpanan baterai dan penggunaan bisa bertahan lama (**Yahya, 2020**). Pada sistem pengisian daya terdapat kontrol pengisian daya *Constant Current-Constant Voltage* (CC-CV). Implementasi metode kontrol CC-CV, diharapkan agar sistem mampu mengisi daya lebih cepat dan menjaga *lifetime* baterai lebih lama apabila dibandingkan dengan metode kontrol CC atau CV saja (**Haq, dkk, 2019**). Permasalahan pada baterai yang telah disampaikan mendorong penelitian ini untuk melakukan pengujian baterai untuk estimasi SoC dan DoD untuk baterai *Lead Acid* serta *Lithium Ion*. Pengukuran *discharging* dan perhitungan dengan pendekatan *Modified Coulomb Counting* yang dikombinasikan dengan metode interpolasi linier dari kedua baterai, serta melakukan simulasi *Constant Current Discharging*.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alur Pengolahan Data

Diagram alir Metode *Charging* dan *Discharging*, ditunjukkan pada Gambar.1.



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan Data

Diagram alir pengolahan data perbandingan penggunaan baterai *Lead Acid* dan *Lithium Ion*, meliputi: 1-Mengumpulkan Spesifikasi data baterai, 2-Perancangan Alat secara seri paralel untuk mendapatkan kapasitas yang sama, 3-pengujian *Charging* baterai untuk mendapatkan estimasi kapasitas baterai dengan sumber panel surya, 4-Pengambilan data saat proses *Discharging* berlangsung dengan estimasi setiap 0,5 jam, 5-Perhitungan dengan metode *modified Coulumb Counting* untuk menentukan SoC baterai, 6-Indikasi perbandingan SoC baterai.

2.2 Perhitungan Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai dari spesifikasi baterai yang di rangkai paralel dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) (Ye, dkk, 2019).

$$C_{parallel_n} = Cp1_n + CP2_n \quad (1)$$

Voltage baterai dari spesifikasi baterai yang dirangkai seri dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) (Ye, dkk, 2019).

$$U_{series_n} = Us1_n + Us2_n \quad (2)$$

di mana: $C_{parallel_n}$ = kapasitas baterai yang ditentukan, CP_n = jumlah kapasitas baterai tiap cell, U_{series_n} = Tegangan baterai yang ditentukan, Us_n = jumlah tegangan baterai tiap cell.

2.3 Perhitungan SoC

2.3.1 Modified Coulumb Counting Method

Perhitungan SoC Awal Baterai

Persentase SoC awal baterai dari pengukuran dan spesifikasi pada baterai dapat dihitung menggunakan Persamaan (3) (Rahmawan, 2018).

$$SoC_{(t_0)} = (100 \pm (\frac{Q}{Q_{rate}})) \times 100\% \quad (3)$$

di mana: $SoC_{(t_0)}$ = persentase SOC awal baterai, Q = kapasitas pengukuran yang digunakan tiap 30 menit, Q_{rate} = total kapasitas baterai dalam satuan Ampere hours (Ah)

Perhitungan CDischarge

$CDischarging$ baterai dengan koreksi arus dapat dihitung menggunakan Persamaan (4) (M, Umesh, dkk, 2018).

$$CDis = TDis \times IDis^K \quad (4)$$

di mana: $CDis$ = Kapasitas pengosongan dengan estimasi Peukert, $TDis$ = Waktu proses pengosongan, $IDis$ = Arus yang dinyatakan dalam satuan ampere (A), K = Nilai konstanta peukert, nilai Konstanta (K) dapat dihitung menggunakan Persamaan (5) (Ningrum & Windarko, 2019).

$$K = LOG(IDis \times (\frac{CDis}{TDis})) \quad (5)$$

di mana: $CDis$ = Kapasitas pengosongan dalam ampere hours (Ah), $TDis$ = Waktu proses pengosongan, $IDis$ = Arus yang dinyatakan dalam satuan ampere (A).

Perhitungan SoC Akhir Baterai

Persentase SoC Akhir baterai dapat dihitung menggunakan Persamaan (6) (Ningrum & Windarko, 2019).

$$SoC_{(t_1)} = SoC_{(t_0)} - \left(\frac{(TDis \times IDis)^K}{Q_{rate}} \right) \quad (6)$$

di mana: $SoC_{(t_0)}$ = persentase SOC awal baterai, $TDis$ = Waktu proses pengosongan, $IDis$ = Arus yang dinyatakan dalam satuan ampere (A), Q_{rate} = total kapasitas baterai dalam satuan Ampere hours (Ah)

2.3.2 Metode Interpolasi Linier

Input ditentukan terhadap SoC baterai dan hasil output terhadap kapasitas baterai dapat dihitung menggunakan Persamaan (7) (Wang, dkk, 2013).

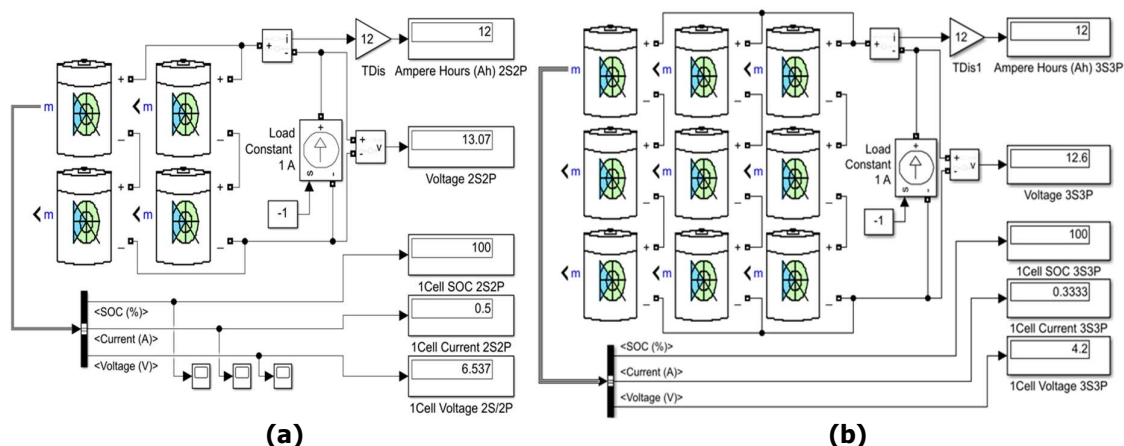
$$f(x) = (y_0) + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0) \quad (7)$$

di mana: $f(x)$ = nilai SoC yang dibutuhkan, y_0 = Pengukuran persentase SoC setiap T0,5 dalam satuan (%), y_1 = Pengukuran persentase SoC setiap T0,5 dalam satuan (%), x = nilai SoC dalam keadaan bebas yang dibutuhkan dalam satuan (%), x_0 = pengukuran nilai kapasitas baterai dalam satuan ampere hours (Ah), x_1 = pengukuran nilai kapasitas baterai dalam satuan Ampere hours (Ah)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Schematic Diagram

Wiring kapasitas baterai untuk menentukan kapasitas 12 Ah, 12 Volt.



Gambar 2. Skematik Seri Paralel Baterai *Lead Acid* dan *Lithium Ion* (A) Skematik 2 Seri 2 Paralel Baterai *Lead Acid* (B) Skematik 3 Seri 3 Paralel Baterai *Lithium Ion*

Berdasarkan Gambar 2 (A) baterai disusun secara 2 seri dan 2 paralel, pada spesifikasi nominal data baterai 6Volt, 6Ah sehingga dapat dihitung dengan Persamaan (1) dan Persamaan (2). Berdasarkan Gambar 2 (B) baterai disusun secara 3 seri dan 3 paralel, pada spesifikasi nominal data baterai 3,6 Volt, 4 Ah sehingga dapat dihitung dengan Persamaan (1) dan Persamaan (2).

3.2 Charging

3.2.1 Output Panel Surya Terhadap Beban Baterai

Pengambilan data dilakukan secara langsung dengan alat bantu (PZEM-031 dan PZEM-015). Baterai *Lead Acid* dan *Lithium Ion* dengan estimasi *Charging* selama 5 jam dengan kontrol *Buck Converter* CC-CV.

Tabel 1. Data Pengukuran Output Panel Surya

Solar Panel							
No	Jam	Voltage (V)	Current (A)	Watt (W)	Iradiasi (W/m ²)	Temperature Modul (°C)	Ambient Temperature (°C)
0	Open Circuit	21,94	0	0	935,7	57,9	37
1	10:03	20,74	1,42	29,4	935,7	57,9	37
2	10:33	20,22	2,32	46,9	1069,6	53	34,4
3	11:03	20,39	2,33	47,5	1090,5	59,8	40,7
4	11:33	13,2	2,94	38,8	980,3	44,3	31,7
5	12:03	20,33	2,33	47,3	1182,1	54,6	35,7
6	12:33	11,9	1,25	14,8	1140,9	54,6	34,7
7	13:03	12,15	1,99	24,1	977,9	48,1	33,2
8	13:33	12,4	2,05	25,4	858	43,1	32,8
9	14:03	12,47	0,86	10,7	647,5	41,3	28,7
10	14:33	12,72	2,05	26	693,2	42,4	39,2
11	15:03	13,01	0,9	11,7	393,6	43,7	31,2

Pada Tabel 1 menunjukkan saat Iradiasi pada 980,3 W/m² energi yang masuk ke dalam panel surya juga dipengaruhi terhadap radiasi matahari, tegangan turun sampai 13,2 V dan Arus 2,94 A.

3.2.2 Charging Baterai *Lead Acid*

Sebelum dilakukan *Charging*, baterai diukur ketika saat berada pada kondisi tegangan terendahnya (10,3 V) atau pada kondisi *Low Voltage*. Ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pengukuran *Charging* Baterai *Lead Acid*

Baterai <i>Lead Acid</i>						
No	Jam	Voltage (V)	Current (A)	Watt (W)	Capacity (Ah)	Watt Hours (Wh)
0	Open Circuit	10,3	0	0	0	0
1	10:03	13	0,254	3,32	0	0
2	10:33	13,1	1,28	16,9	0,584	7
3	11:03	13,1	1,27	16,8	1,23	16
4	11:33	12,9	0,763	9,88	1,86	24
5	12:03	13,1	1,16	15,3	2,47	32
6	12:33	12,1	1,12	13,6	2,92	38
7	13:03	12,2	0,38	4,65	3,31	43
8	13:33	12,4	0,42	5,24	3,75	49
9	14:03	12,5	0,287	3,6	4,13	54
10	14:33	12,6	0,146	1,84	4,2	55
11	15:03	12,9	0,378	4,87	4,38	57

Pada Tabel 1 menunjukkan mode *Charging* mengalami penurunan saat jam 11:33 WIB, akan tetapi pada Tabel 2 menunjukkan Tegangan *Lead Acid* 12,9 V dan Arus *Lead Acid* 0,763 A, sehingga daya yang di hasilkan juga ikut menurun 9,888 W karena pengaruh radiasi matahari, sehingga bersifat fluktuatif. Saat mode *Constant Voltage* (CV), nilai tegangan dipertahankan sekitar 13,1 V sehingga dapat mempertahankan baterai saat kondisi penuh, tanpa mengisi baterai secara berlebihan. Pada pengujian ini dengan kontrol *buck converter* tidak direkomendasikan karena kontrol tersebut tidak dapat menjaga tegangan yang ditentukan saat kondisi cuaca penghujan, baterai yang di *Charging* selama 5 jam kerja hanya dapat terisi 4,87 Ah.

3.2.3 *Charging* Baterai *Lithium Ion*

Sebelum dilakukan *Charging*, baterai diukur ketika berada pada kondisi tegangan terendahnya (9,16 V) atau pada kondisi *Low Voltage*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengukuran *Charging* Baterai *Lithium Ion*

Baterai <i>Lithium Ion</i>						
No	Jam	Voltage (V)	Current (A)	Watt (W)	Capacity (Ah)	Watt Hours (Wh)
0	Open Circuit	9,16	0	0	0	0
1	10:03	9,31	2,41	22,5	0	0
2	10:33	10,4	2,39	24,9	1,2	12
3	11:03	10,6	2,39	25,6	2,43	24
4	11:33	11	2,41	26,5	3,65	38
5	12:03	11,2	2,4	27	4,86	52
6	12:33	11,5	2,36	27,2	6,06	65
7	13:03	11,8	2,27	26,8	7,22	78
8	13:33	12	2,37	28,6	8,41	92
9	14:03	12,3	1,09	13,4	9,6	108
10	14:33	12,4	1,83	22,8	10,6	121
11	15:03	12,5	0,494	6,17	11,2	128

Pada Tabel 1 saat mode *Charging* mengalami penurunan saat jam 11:33 WIB, akan tetapi pada Tabel 3 menunjukkan Tegangan *Lithium Ion* 11 V dan Arus *Lithium Ion* 2,41 A, dengan daya yang dihasilkan 26,5W sehingga dapat *Charging* sesuai kebutuhan baterai. Baterai memiliki karakter *Constant Current* (CC), nilai tegangan dipertahankan sekitar 12,57 V sehingga dapat mempertahankan baterai saat kondisi penuh, tanpa mengisi baterai secara berlebihan. Pada pengujian ini dengan kontrol *buck converter* direkomendasikan karena kontrol tersebut dapat menjaga Arus yang ditentukan walaupun saat kondisi cuaca mendung berawan, baterai yang di *Charging* selama 5 jam kerja dapat terisi 11,2 Ah. Pada tahap *float*, ketika tegangan baterai mencapai 12,4 V sesuai spesifikasi standar pabrik, tegangan pengisian

yang di rekomendasikan dan arus baterai diizinkan berkurang dari 2,40 A sampai 1,83 A. Pada tahap *equalization*, ketika baterai berada di tegangan 12,5 V berkurangnya Arus dari 1,833 A sampai 0,494 A, di mana hal tersebut dipengaruhi saat baterai sudah mencapai *full Charging* dengan maksimum Arus 200 mA (*Cut Off*).

3.3 Discharging

3.3.1 Data Pengukuran Baterai *Lead Acid*

Pengujian *Discharging* dilakukan pada saat baterai *full Charging* 13,1 V dengan beban konstan 12 Ohm dilakukan sampai keadaan baterai *cut off* atau waktu maksimal 12 jam kerja, Pengujian baterai *Lead Acid* dilakukan dengan mengambil data setiap 30 menit.

Baterai *Lead Acid* atau bisa disebut dengan istilah baterai aki basah merupakan jenis baterai industrial yang sering dipakai pada penyimpanan energi. Baterai ini bersifat terbuka, sehingga saat terjadi proses evaporasi / penguapan pada cairan elektrolit yang dikeluarkan, sehingga pemakai perlu melakukan pengisian cairan elektrolit selama masa pemakaiannya.

Tabel 4. Data Pengukuran *Discharging* Baterai *Lead Acid*

DATA PENGUKURAN								
No	Menit ke	Tegangan	Arus	Kapasitas	Watt	Watt Hours	BAR PZEM	Suhu
0	Open Circuit	13,1 V	0	0	0	0	100	30,0°C
1	Close Circuit	12.8 V	1,07 A	0	13.8 W	0	100	30,0°C
2	30	12,3 V	1,02 A	521 mAh	12,6 W	6	90	28,8°C
3	60	12,3 V	1,02 A	1,03 Ah	12,5 W	12	90	29,4°C
4	90	12,2 V	1,01 A	1,53 Ah	12,4 W	18	80	29,3°C
5	120	12,2 V	1,01 A	2,03 Ah	12,4 W	24	80	29,8°C
6	150	12,2 V	1,01 A	2,55 Ah	12,4 W	30	80	29,9°C
7	180	12,1 V	1,01 A	3,04 Ah	12,3 W	37	80	29,8°C
8	210	12,1 V	1,01 A	3,55 Ah	12,3 W	43	80	31,2°C
9	240	12,1 V	1,01 A	4,05 Ah	12,2 W	48	80	29,6°C
10	270	12,0 V	1,00 A	4,56 Ah	12,1 W	55	80	30,2°C
11	300	12,0 V	1,00 A	5,05 Ah	12,0 W	61	80	29,2°C
12	330	11,9 V	0,998 mA	5,55 Ah	11,9 W	67	80	29,0°C
13	360	11,9 V	0,996 mA	6,05 Ah	11,9 W	73	80	28,7°C
14	390	11,8 V	0,988 mA	6,54 Ah	11,8 W	78	70	28,7°C
15	420	11,7 V	0,983 mA	7,02 Ah	11,6 W	85	70	29,1°C
16	450	11,7 V	0,98 mA	7,52 Ah	11,5 W	91	70	29,5°C
17	480	11,6 V	0,973 mA	8,00 Ah	11,4 W	96	70	28,6°C
18	510	11,5 V	0,965 mA	8,48 Ah	11,3 W	102	70	29,9°C
19	540	11,4 V	0,961 mA	8,96 Ah	11,1 W	107	70	28,3°C
20	570	11,3 V	0,950 mA	9,44 Ah	10,8 W	113	60	28,3°C
21	600	11,2 V	0,938 mA	9,91 Ah	10,5 W	118	60	28,1°C
22	630	9,78 V	0,817 mA	10,3 Ah	7,98 W	121	20	28,0°C
23	642	9,00 V	0,751 mA	10,5 Ah	6,75 W	124	10	28,0°C

Pada Tabel 4 saat pengukuran dengan PZEM-015 menunjukkan penurunan setiap 30 menit, sehingga diketahui kondisi *alert battery* atau kondisi *drop* sampai baterai dalam kondisi *cut off* habis dan mati. Pada baterai *Lead Acid* yang diuji, baterai ini akan *cut off* di tegangan 9 V, maka agar maksimal pemakain baterai disarankan agar segera *Charging* baterai, sebelum kondisi tegangan mencapai kondisi dropnya atau saat mencapai level *deep discharge*. Pengguna dapat mengisi baterai saat kondisi *nominal voltage* 12 V menurut spesifikasi standar pabrik pada baterai *Lead Acid*.

3.3.2 Estimasi Perhitungan *State of Charge* Baterai *Lead Acid*

Dari pengukuran pada Tabel 4 dengan menggunakan alat PZEM-015, Penulis sudah mendapatkan data *sample*, pada Tabel 5 menunjukkan perhitungan menggunakan metode *Coulomb Counting* untuk mendapatkan kapasitas SoC awal yang dihasilkan tiap 30 menit, dengan menggunakan Persamaan (3) SOC awal didapat dan mencari nilai konstanta awal dengan Persamaan Peukert (5), selanjutnya agar dapat diolah dengan menggunakan metode *Modified Coulomb Counting*.

Dari data-data yang diperoleh (SoC awal dan konstanta awal), selanjutnya perhitungan CDis menggunakan Persamaan (4) dan perhitungan konstanta akhir dengan Persamaan (5) selanjutnya mencari nilai SoC akhir dengan perhitungan metode *Modified Coulomb Counting* pada Persamaan (6) sehingga perolehan hasil pengukuran dengan metode ini didapat ditampilkan pada Tabel 5. Pada Tabel 5 menunjukkan konstanta 0 pada tegangan 12,1 V dengan SoC 57.833%, dari hasil perhitungan baterai *Lead Acid* saat *Nominal Baterai* di 5 jam *Discharging*, dengan *nominal Voltage* 12 V pada kapasitas 5.05 Ah dan *IDischarging* 1 A, maka SoC didapat 57.833%.

Tabel 5. Perhitungan Kapasitas Soc Baterai Lead Acid

PERHITUNGAN MODIFIED COULOMB COUNTING								
No	TDischarging (jam)	IDischarging (A)	CDischarging (Ah)	SoC Awal (%)	Konstanta Awal	CDis Peukert	Konstanta Akhir	SoC Akhir (%)
1	0	1,07	0	100	0	0	0	100
2	0,5	1,02	0,521	95,65833333	0,026467891	0,500262136	0,0088278	95,57549388
3	1	1,02	1,03	91,41666667	0,021437396	1,000424607	0,008784537	91,33331884
4	1,5	1,01	1,53	87,25	0,012921546	1,500192873	0,004377213	87,166515
5	2	1,01	2,03	83,08333333	0,010787416	2,000214688	0,00436799	82,99974368
6	2,5	1,01	2,55	78,75	0,012921546	2,500321455	0,004377213	78,66632812
7	3	1,01	3,04	74,66666667	0,010073703	3,000300725	0,004364906	74,58292913
8	3,5	1,01	3,55	70,41666667	0,010481682	3,500365056	0,004366669	70,33287258
9	4	1,01	4,05	66,25	0,009716406	4,000386744	0,004363362	66,16615742
10	4,5	1	4,56	62	0,005752329	4,5	0	61,91666667
11	5	1	5,05	57,91666667	0,004321374	5	0	57,83333333
12	5,5	0,998	5,55	53,75	0,003060835	5,499966297	-0,00087212	53,66679032
13	6	0,996	6,05	49,58333333	0,001863463	5,999955187	-0,001743905	49,5002594
14	6,5	0,988	6,54	45,5	-0,002578664	6,500202355	-0,005229353	45,4174732
15	7	0,983	7,02	41,5	-0,00620741	7,000745072	-0,007400259	41,41784766
16	7,5	0,98	7,52	37,33333333	-0,007617347	7,501154272	-0,00870709	37,25143484
17	8	0,973	8	33,33333333	-0,01188716	8,00260335	-0,011745855	33,2519846
18	8,5	0,965	8,48	29,33333333	-0,01649576	8,504996896	-0,015217453	29,2526264
19	9	0,961	8,96	25,33333333	-0,019211112	9,006880742	-0,016944709	25,25299143
20	9,5	0,95	9,44	21,33333333	-0,025028006	9,512203636	-0,021718861	21,25388816
21	10	0,938	9,91	17,41666667	-0,031723507	10,02032536	-0,026915338	17,33820607
22	10,5	0,817	10,3	14,16666667	-0,096130018	10,70600383	-0,079339848	14,09639795
23	10,7	0,751	10,5	12,5	-0,132554542	11,11394565	-0,107875572	12,43344376

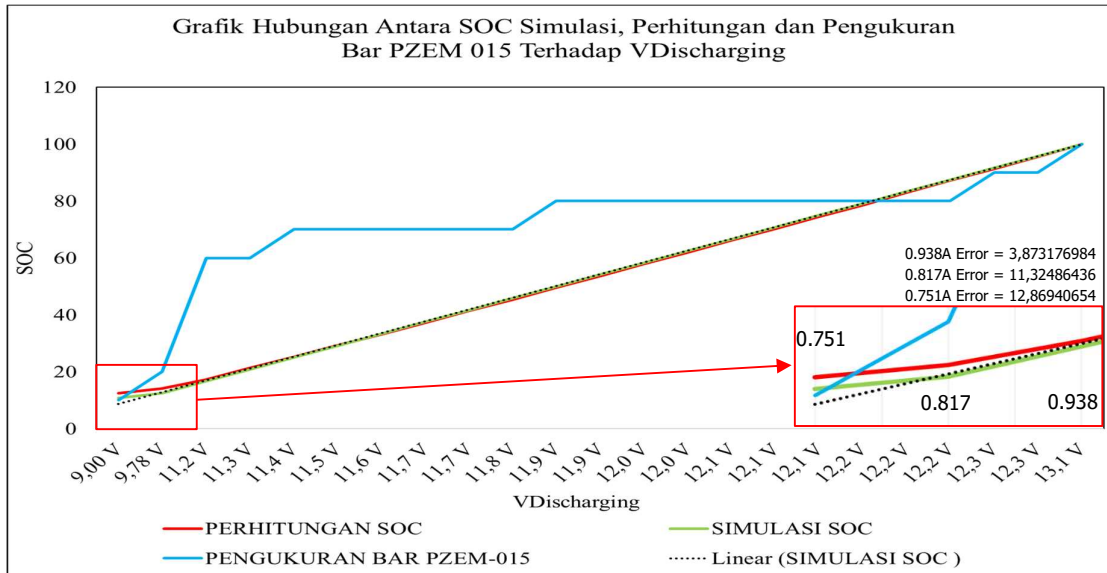
3.3.3 Perbandingan *State of Charge* Baterai *Lead Acid*

Pada Tabel 6 menunjukkan pada baterai *Lead Acid* saat *open circuit Voltage* 13,1 V dan saat terhubung dengan beban *Voltage* menjadi 12,8 V, di mana nilai 12,8 V sampai 12,3 V adalah *Eksponential Area* atau jatuhnya *Voltage* saat terhubung dengan beban. *Discharge rate* adalah penggunaan atau pengosongan baterai sebelum keadaan habis. Pada baterai *Lead Acid* didapat SoC dengan menunjukkan konstanta 0 pada *Voltage* 12 V dengan *persentase* 61,91% adalah minimum SoC, pada *Voltage* 12 V dengan *persentase* 57.833% adalah maksimum SoC sebagai batas baterai sudah habis dan segera dilakukan *Charging* kembali. Saat *nominal baterai* di 5 jam *Discharging*, dengan *nominal Voltage* 12 V pada kapasitas 5.05 Ah dan *IDischarging* 1 A, maka SoC didapat 70,33% sampai 57.833%. *Round trip Efficiency* pada baterai *Lead Acid* didapat saat baterai dengan kondisi *close circuit* 100% sampai dengan keadaan SoC 57,833%. *Deep Discharge* adalah kondisi baterai sebelum keadaan *end of*

Discharge atau cut off. DoD (Cut off 9 V) pada baterai Lead Acid didapat dengan waktu maksimum 10,7 jam dengan pengosongan kapasitas sebanyak 10,5 Ah 12,433% dari 100%.

Tabel 6. Perbandingan State of Charge Baterai Lead Acid

PERBANDINGAN SOC						
No	VDischarging (V)	Pengukuran BAR PZEM-015 (10=100)	Perhitungan SoC t0 (%)	Simulasi SoC t1 (%)	Error (%)	Keterangan
1	12.8	10	100	100	0	Exponential Area
2	12,3	9	95,57549388	95,83333333	0,269775699	
3	12,3	9	91,33331884	91,66666667	0,364979435	Discharge rate
4	12,2	8	87,166515	87,5	0,382583841	
5	12,2	8	82,99974368	83,33333333	0,401916487	
6	12,2	8	78,66632812	79,16666666	0,636026308	
7	12,1	8	74,58292913	75	0,559204204	Nominal
8	12,1	8	70,33287258	70,83333333	0,711560239	
9	12,1	8	66,16615742	66,66666667	0,756442964	SoC dan Konstanta 0
10	12,0	8	61,91666667	62,5	0,942126513	
11	12,0	8	57,83333333	58,33333333	0,864553314	Deep Discharge
12	11,9	8	53,66679032	54,16666667	0,931444454	
13	11,9	8	49,5002594	50	1,009571677	
14	11,8	7	45,4174732	45,83333333	0,915639075	
15	11,7	7	41,41784766	41,66666667	0,600753095	
16	11,7	7	37,25143484	37,5	0,667263318	
17	11,6	7	33,2519846	33,33333333	0,244643244	
18	11,5	7	29,2526264	29,16666666	0,293853084	
19	11,4	7	25,25299143	25	1,001827556	
20	11,3	6	21,25388816	20,83333333	1,978719477	
21	11,2	6	17,33820607	16,66666667	3,873176984	DoD
22	9,78	2	14,09639795	12,5	11,32486436	
23	9,00	1	12,43344376	10,83333333	12,86940654	(Cut off)



Gambar 3. Grafik Hubungan SoC Simulasi, Pengukuran, dan Perhitungan Terhadap Vdischarging Baterai Lead Acid

Pada Gambar 3 Grafik SoC menampilkan perbandingan antara pengukuran Bar PZEM-015, perhitungan SOC dengan metode *Modified Coulomb Counting* dan Simulasi simulink baterai *Lead Acid* dengan beban *Constant Current*. Gambar 3 (*Red Box area*) dimulai pada *Voltage* 11,2 hal tersebut sudah menunjukkan SoC perbandingan dengan *Current* konstan dan *Current* terhadap beban resistor, berdasarkan hukum Ohm besar konduktor pada sebuah penghantar maka berbanding lurus dengan *Current* penghantar yang mengalir penghantar-nya. Maka pengaruh SoC simulasi dan perhitungan sudah dianggap sesuai karena baterai pada kondisi *Discharging* sampai keadaan *cut off*.

3.3.4 Data Pengukuran Baterai *Lithium Ion*

Pengujian *Discharging* dilakukan pada saat baterai *full Charging* 12.57 V dengan beban konstan 12 Ohm dilakukan sampai keadaan baterai *cut off* atau waktu maksimal 12 jam kerja, Pengujian baterai *Lithium Ion* dilakukan dengan mengambil data setiap 30 menit.

Baterai *Lithium Ion* bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik *portable*. Baterai *Lithium Ion* ini memiliki densitas energi tinggi, densitas daya tinggi, dan pengisian ulang yang baik dengan tanpa efek memori dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan.

Tabel 7. Data Pengukuran *Discharging* Baterai *Lithium Ion*

DATA PENGUKURAN								
No	Menit ke	Tegangan	Arus	Kapasitas	Watt	Watt Hours	BAR PZEM	Suhu
0	Open Circuit	12,57 V	0	0	0	0	100	34,1°C
1	Close Circuit	12,5 V	1,05 A	0	13,1 W	0	100	34,1°C
2	30	12,2 V	1,01 A	513 mAh	12,5 W	6	100	33,1°C
3	60	12,2 V	1,01 A	1,02 Ah	12,3 W	12	100	32,1°C
4	90	12,1 V	1,0 A	1,53 Ah	12,2 W	18	100	32,8°C
5	120	12,1 V	1,0 A	2,04 Ah	12,1 W	24	90	33,1°C
6	150	11,9 V	995 mA	2,55 Ah	11,9 W	30	90	32,4°C
7	180	11,8 V	982 mA	3,04 Ah	11,5 W	37	90	32,4°C
8	210	11,6 V	970 mA	3,53 Ah	11,3 W	43	80	32,5°C
9	240	11,5 V	961 mA	4,02 Ah	11,0 W	48	80	32,2°C
10	270	11,4 V	952 mA	4,51 Ah	10,9 W	54	80	31,6°C
11	300	11,3 V	944 mA	4,99 Ah	10,7 W	59	80	31,1°C
12	330	11,2 V	933 mA	5,45 Ah	10,4 W	64	70	30,9°C
13	360	11,1 V	925 mA	5,93 Ah	10,2 W	70	70	30,5°C
14	390	11,0 V	913 mA	6,39 Ah	10,0 W	75	70	30,5°C
15	420	10,8 V	903 mA	6,85 Ah	9,81 W	80	70	30,5°C
16	450	10,7 V	891 mA	7,3 Ah	9,56 W	84	60	30,8°C
17	480	10,5 V	877 mA	7,75 Ah	9,26 W	89	60	30,2°C
18	510	10,4 V	869 mA	8,19 Ah	9,09 W	94	60	30,8°C
19	540	10,3 V	855 mA	8,63 Ah	8,85 W	98	50	30,1°C
20	570	10,1 V	839 mA	9,06 Ah	8,48 W	102	50	30,2°C
21	600	9,88 V	821 mA	9,48 Ah	8,11 W	108	40	30,1°C
22	630	9,63 V	803 mA	9,88 Ah	7,73 W	111	40	29,8°C
23	660	9,39 V	781 mA	10,2 Ah	7,33 W	115	30	30,2°C
24	690	9,09 V	759 mA	10,6 Ah	6,89 W	119	30	30,2°C
25	720	8,64 V	721 mA	11,0 Ah	6,22 W	122	20	30,0°C

Pada Tabel 7 menunjukkan penurunan daya saat dilakukan pengukuran pada PZEM-015 setiap 30 menit, sehingga kita bisa mengetahui kondisi *alert battery* atau kondisi *drop* sebelum

baterai dalam kondisi *cut off* habis dan mati. Untuk baterai *Lithium Ion* yang diuji, baterai ini akan *cut off* di tegangan 8,1 V. Pengguna dapat mengisi baterai saat kondisi nominal *voltage* 10.8 V menurut spesifikasi pabrik pada baterai *Lithium Ion*.

3.3.5 Estimasi Perhitungan *State of Charge* Baterai *Lithium Ion*

Dari pengukuran pada Tabel 4 dengan menggunakan PZEM-015, didapatkan data *sample*, pada Tabel 5. Tabel 5 ini menunjukkan perhitungan menggunakan metode *Coulomb Counting* untuk mendapatkan kapasitas SoC awal yang dihasilkan tiap 30 menit atau setengah jam, dengan menggunakan Persamaan (3). SOC awal didapat dan mencari nilai konstanta awal dengan Persamaan Peukert (5), selanjutnya agar dapat diolah dengan menggunakan metode *Modified Coulomb Counting*. Dari data-data yang diperoleh (SoC awal dan konstanta awal), selanjutnya perhitungan CDis menggunakan Persamaan (4) dan perhitungan konstanta akhir dengan Persamaan (5). Proses selanjutnya adalah mencari nilai SoC akhir dengan perhitungan metode *Modified Coulomb Counting* pada Persamaan (6) sehingga perolehan hasil perhitungan dengan metode ini didapat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Kapasitas SoC Baterai *Lithium Ion*

PERHITUNGAN MODIFIED COULOMB COUNTING								
No	TDischarging (jam)	IDischarging (A)	CDischarging (Ah)	SoC Awal	Konstanta Awal	CDis Peukert	Konstanta Akhir	SoC Akhir
1	0	1,05	0	100	0	0	0	100
2	0,5	1,01	0,513	95,725	0,015468735	0,500076965	0,00438822	95,64191613
3	1	1,01	1,02	91,5	0,012921546	1,000128582	0,004377213	91,41666304
4	1,5	1	1,53	87,25	0,008600172	1,5	0	87,16666667
5	2	1	2,04	83	0,008600172	2	0	82,91666667
6	2,5	0,995	2,55	78,75	0,006423253	2,499919509	-0,002190902	78,66683288
7	3	0,982	3,04	74,66666667	-0,002136183	3,000116407	-0,007871661	74,58403907
8	3,5	0,97	3,53	70,58333333	-0,009521605	3,501015219	-0,013102311	70,50132395
9	4	0,961	4,02	66,5	-0,015110551	4,002405166	-0,017015553	66,41855427
10	4,5	0,952	4,51	62,41666667	-0,020399024	4,504517714	-0,020927266	62,33583233
11	5	0,944	4,99	58,41666667	-0,025897464	5,007467811	-0,024379844	58,33642718
12	5,5	0,933	5,45	54,58333333	-0,034084543	5,513016089	-0,029091786	54,50387188
13	6	0,925	5,93	50,58333333	-0,038954824	6,018249567	-0,032539324	50,50451995
14	6,5	0,913	6,39	46,75	-0,046941721	6,527831361	-0,037673653	46,67207397
15	7	0,903	6,85	42,91666667	-0,053719718	7,038473528	-0,041931808	42,83953364
16	7,5	0,891	7,3	39,16666667	-0,061860699	7,553737067	-0,047021696	39,09045372
17	8	0,877	7,75	35,41666667	-0,070788691	8,07467351	-0,052965422	35,34150347
18	8,5	0,869	8,19	31,75	-0,077115248	8,592537392	-0,056277719	31,67553623
19	9	0,855	8,63	28,08333333	-0,086265599	9,122450034	-0,062164901	28,00992799
20	9,5	0,839	9,06	24,5	-0,096833447	9,662866899	-0,068855647	24,42776522
21	10	0,821	9,48	21	-0,108848506	10,21700532	-0,076333224	20,9290383
22	10,5	0,803	9,88	17,66666667	-0,121716809	10,78417729	-0,083686735	17,59695061
23	11	0,781	10,2	15	-0,14014148	11,38771863	-0,092304923	14,93167149
24	11,5	0,759	10,6	11,66666667	-0,155150199	12,00268346	-0,101177712	11,59973731
25	12	0,721	11	8,33333333	-0,179853296	12,72717621	-0,116513924	8,268524884

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 6 didapat saat baterai *Lead Acid* proses beban *constant Resistance* dapat beroperasi selama 10.7 jam dengan tegangan 9 Volt (*cut off*) maksimal DoD 12.433% dari 100%. Tabel 6 juga menjelaskan hasil perhitungan, pengukuran, dan simulasi yang menunjukkan perbandingan, di mana pengukuran PZEM-015 hanya menampilkan SoC dalam bentuk BAR, di mana setiap BAR parameter SoC 10 = 100. Perhitungan SoC akhir dalam

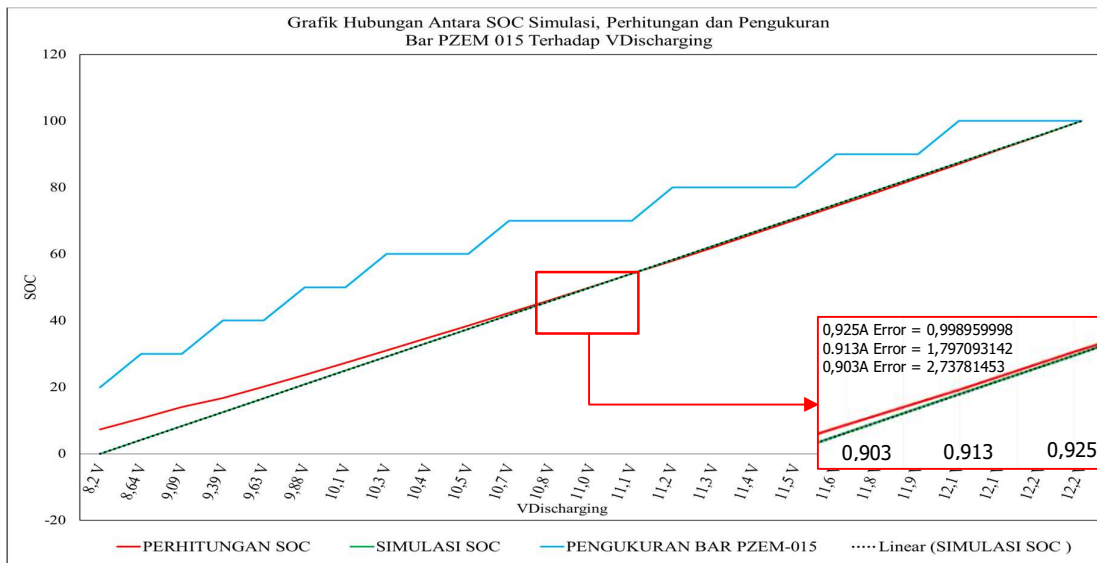
pengujian baterai *Lead Acid* dengan waktu maksimal *Discharging* 10,7 jam (*cut off*) tegangan 9 Volt.

3.3.6 Perbandingan *State of Charge* Baterai *Lithium Ion*

Pada Tabel 9 didapat pada baterai *Lithium Ion* saat *open circuit voltage* 12,57 V dan saat terhubung dengan beban *voltage* menjadi 12,5V, 12,5 V sampai 12,2 V adalah *Ekspontial Area* atau jatuhnya *voltage* saat terhubung dengan beban didapat rating *persentase* 95,64%. *Discharge rate* adalah penggunaan atau pengosongan baterai sebelum keadaan habis. Pada baterai *Lithium Ion* didapat konstanta 0 adalah minimum SoC pada *Voltage* 12,1 V dengan rating *persentase* 82,91% dan SoC maksimum didapat pada *Voltage* 10,8 V 42,83% sebagai batas baterai sudah habis dan segera dilakukan *Charging* kembali. Pada saat *Nominal Baterai* di 7 jam *Discharging*, dengan *nominal Voltage* 10,8 V pada kapasitas 6,85 Ah dan *IDischarging* 0,903 A, maka SoC didapat 78.66% sampai 70.33%. *Round trip Efficiency* pada baterai *Lithium Ion* didapat saat baterai dengan kondisi *close circuit* 100% sampai dengan keadaan SoC 70,33%. *Deep Discharge* adalah kondisi baterai sebelum keadaan *end-of-Discharge* atau *cut off*. DoD pada baterai *Lithium Ion* didapat dengan waktu maksimum *Discharging* 12 jam dengan pengosongan kapasitas sebanyak 11 Ah 8,26 % dari 100 %.

Tabel 9. Perbandingan State of Charge Baterai *Lithium Ion*

Perbandingan SOC						
No	Vdischarging (V)	Pengukuran BAR PZEM-015 (10 = 100)	Perhitungan SoC t0 (%)	Simulasi SoC t1 (%)	Error (%)	Keterangan
1	12,5	10	100	100	0	Exponential Area
2	12,2	10	95,64191613	95,83333333	0,200139451	
3	12,2	10	91,41666304	91,66666667	0,27347709	Discharge rate
4	12,1	10	87,16666667	87,5	0,382409178	
5	12,1	9	82,91666667	83,33333333	0,502512563	Konstanta 0
6	11,9	9	78,66683288	79,16666666	0,635380584	
7	11,8	9	74,58403907	75	0,557707699	Nominal Area
8	11,6	8	70,50132395	70,83333333	0,470926446	
9	11,5	8	66,41855427	66,66666667	0,373558869	
10	11,4	8	62,33583233	62,5	0,263360032	
11	11,3	8	58,33642718	58,33333333	0,005303453	
12	11,2	7	54,50387188	54,16666667	0,618681217	
13	11,1	7	50,50451995	50	0,998959998	
14	11,0	7	46,67207397	45,83333333	1,797093142	
15	10,8	7	42,83953364	41,66666667	2,73781453	
16	10,7	6	39,09045373	37,5	4,068649948	
17	10,5	6	35,34150347	33,33333333	5,682186493	Deep Discharge
18	10,4	6	31,67553623	29,16666666	7,920527546	
19	10,3	5	28,00992799	25	10,74593262	
20	10,1	5	24,42776522	20,83333333	14,71453426	
21	9,88	4	20,9290383	16,66666667	20,36582654	
22	9,63	4	17,59695061	12,5	28,96496515	
23	9,39	3	14,93167149	8,33333333	44,19021784	
24	9,09	3	11,59973731	4,166666667	64,07964634	
25	8,64	2	8,268524884	0	100	DoD



Gambar 4. Grafik Hubungan SoC Simulasi, Pengukuran, dan Perhitungan Terhadap VDischarging Baterai Lithium Ion

Pada Gambar 4 Grafik SoC menampilkan perbandingan antara pengukuran Bar PZEM-015, perhitungan SOC dengan metode *Modified Coulomb Counting* dan simulasi *simulink* baterai *Lithium Ion* dengan beban *Constant Current*. Gambar 4 (Red Box area) di mulai pada Voltage 11,1V hal tersebut sudah menunjukkan SoC perbandingan dengan *current* konstan dan *current* terhadap beban resistor, berdasarkan hukum Ohm besar konduktor pada sebuah penghantar maka berbanding lurus dengan *current* penghantar yang mengalirinya. maka pengaruh SoC simulasi dan perhitungan terhadap baterai *Lithium Ion* terdapat selisih, karena perbedaan *voltage input* pada baterai terhadap beban.

3.3.7 Perbandingan SoC dengan Metode Interpolasi Linier

Tabel 10. Perbandingan Persentase SoC setiap Bilangan Bulat

Perbandingan SoC Terhadap Kapasitas Baterai		
SoC	CDis Baterai Lead Acid	CDis Baterai Lithium Ion
100	0	0
90	1,189	1,189
80	2,389	2,390
70	3,589	3,590
60	4,790	4,790
50	5,990	5,990
40	7,190	7,190
30	8,390	8,391
20	9,590	9,591
10	0	10,792
0	0	0

Pada Tabel 10 menunjukkan penurunan setiap 10% dari hasil tersebut dapat disimpulkan penyimpanan paling lama digunakan adalah baterai *Lithium Ion*. Kapasitas baterai 12Ah di mana *Ampere Hours* (Ah) merupakan maksimum penyimpanan untuk bisa bertahan sebelum keadaan kosong atau habis. Pada pengujian yang telah dilakukan dari masing-masing jenis baterai memiliki karakteristik potensial tegangan yang berbeda.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan pengukuran yang dilakukan didapat saat *Charging* baterai *Lead Acid* memiliki karakter *Constant Voltage* sehingga berpengaruh terhadap *drop voltage* pada panel surya saat keadaan cuaca mendung berawan dengan maksimum *charging* selama 5 jam terisi kapasitas baterai pada 4,38 Ah, berbeda dengan baterai *Lithium Ion* memiliki karakter *Constant Current* apabila keadaan cuaca mendung berawan mengonversi arus pada panel surya menjadi daya, sehingga pengaruh cuaca tidak stabil tidak berpengaruh besar saat *charging* baterai *Lithium Ion* dengan maksimum *charging* selama 5 jam terisi kapasitas baterai pada 11,2 Ah. Didapat pengukuran terhadap perhitungan dengan metode *Modified Coulomb Counting* estimasi minimum SoC yang dianjurkan pada baterai *Lead Acid* 61,9% pada tegangan 12 Volt, dan baterai *Lithium Ion* 82,9% pada tegangan 12,1 Volt. Maksimum SoC pada baterai *Lead Acid* 57,8% pada tegangan 12 Volt, dan pada baterai *Lithium Ion* 42,8% pada tegangan 10,8 Volt. Didapat pengujian selama 12 jam *Discharging* atau sampai keadaan *cut off* estimasi yang diperkirakan pada baterai *Lead Acid* tidak sesuai karena saat 10,7 jam sudah keadaan *cut off* dengan tegangan 9 Volt pada persentase 12,4%, sedangkan pada baterai *Lithium Ion* beroperasi sampai 12 jam kerja dengan tegangan 8,64 Volt pada persentase 8,2%. Cara mengestimasi kapasitas baterai secara akurat dengan metode *interpolasi linier* terhadap kombinasi metode *Modified Coulomb Counting*, didapat setiap persentase bilangan bulat dengan kapasitas yang mendekati sesuai dengan pengujian beban konstan resistor terhadap waktu meskipun terdapat perbedaan input tegangan dari masing-masing baterai. Setelah melakukan pengujian dari masing masing baterai yang cocok digunakan pada sistem PLTS *Off-Grid* adalah jenis baterai *Lithium Ion* karena baterai ini mampu bertahan lebih lama dan *Charging* yang cukup efisien.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah memberikan dana skim Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) Nomor: 05/AMD/KP/MULTI/LPPM-ITATS/2021.

DAFTAR RUJUKAN

- Danko, Matúš, Juraj Adamec, Michal Taraba, dan Peter Drgona. (2019). Overview of Batteries State of Charge Estimation Methods. *Transportation Research Procedia*, 40, 186–92. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.029>.
- Faturahman, Burhanudin Mukhamad. (2021). Peningkatan Porsi Energi Hijau Pada RUPTL 2021-2030. *Pusat Penelitian Badan Keahlian DPR RI XIII*: 19.
- Gumintang, M Afkar, M Faizal Sofyan, dan Ilham Sulaeman. (2020). Design and Control of PV Hybrid System in Practice. *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, atas nama Kementerian Federal Jerman untuk Kerja sama Ekonomi dan Pembangunan*, Juni, 71.
- Haq, Muhamad Amirul, Muhammad Rivai, dan Tasripan Tasripan. (2019). Rancang Bangun Sistem Pengisian Baterai Nirkabel Menggunakan Mikrokontroler Teensy. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), 368–73. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.31323>.

- Leksono, Edi, Irsyad Nashirul Haq, Muhammad Iqbal, F X Nugroho Soelami, dan I G N Merthayasa. (2013). State of Charge (SoC) Estimation on LiFePO₄ Battery Module Using Coulomb Counting Methods with Modified Peukert. Dalam *2013 Joint International Conference on Rural Information & Communication Technology and Electric-Vehicle Technology (RICT & ICeV-T)*, 3. Bandung, Indonesia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/rICT-ICeVT.2013.6741545>.
- Limuria, Stevanny. (2020). Kolaborasi Menuju Transisi Energi Berkelanjutan. disunting oleh Heri Susanto, 6. APLSI.
- M, Umesh, Krishnashree Achuthan, Saneesh P. Francis, dan Balakrishnan Shankar. (2018). Battery Capacity Computation Using Peukert's Equation in a Virtual Environment. Dalam *2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, (pp. 403–4). Mumbai: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2018.00117>.
- Ningrum, Puspita, dan Novie Ayub Windarko. (2019). Aplikasi Battery Management System (BMS) dengan State of Charge (SOC) Menggunakan Metode Modified Coulomb Counting, *1*(1).
- Rahmawan, Zainul. (2018). Estimasi State Of Charge (SOC) Pada Baterai Lead-Acid Menggunakan Metode Coulomb Counting Pada PV HYBRID. *17*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Rizaldi, Sony, Slamet Suhartono, Syofyan Hadi, dan Tomy Michael. (2022). Role of Head of States at G20 High Level Conference in Utilizing Environmental of Sustainable Development on Electricity in Indonesia. *Technium Social Sciences Journal*, *38*, 197–203. <https://doi.org/10.47577/tssj.v38i1.7850>.
- Sianipar, Rafael. (2017). *Dasar Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. <https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/jetri/article/view/1445>.
- Wang, Liye, Lifang Wang, dan Yong Li. (2013). A Novel State-of-Charge Estimation Algorithm of EV Battery Based on Bilinear Interpolation." Dalam *2013 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 26. Beijing, China: IEEE. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2013.6671658>.
- Won, Il-Kuen, Do-Yun Kim, Jun-Ha Hwang, Jung-Hyo Lee, dan Chung-Yuen Won. (2015). Lifetime Management Method of Lithium-Ion Battery for Energy Storage System. Dalam *2015 18th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, (pp. 1173). Pattaya, Thailand: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEMS.2015.7385253>.
- Yahya, Najmuddin. (2020). Pemantau Tegangan Baterai Ion Litium dalam Rangkaian Empat Seri pada Aplikasi Penyimpan Energi Berdaya Tinggi.

Ye, Min, Xun Song, Rui Xiong, dan Fengchun Sun. (2019). A Novel Dynamic Performance Analysis and Evaluation Model of Series-Parallel Connected Battery Pack for Electric Vehicles. *IEEE Access*, 7, 14256–65. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2892394>.