MANAJEMEN SISTEM PROTEKSI DISCHARGING BATERAI LEAD ACID METODE COULOMB COUNTING

Hendi Matalata[1*], Noviardi[2], Leily W Johar[3]

[1, 3]Program Studi Teknik Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Batanghari, Jambi
[2]Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh
**Corresponding Author E-mail:hendi.matalata@unbari.ac.id*

Abstract

Knowing the battery SoC is important in battery usage, especially in renewable energy systems, electric vehicles, portable electronic devices, and other applications that use batteries as a power source. By knowing the battery SoC, users can manage battery usage, estimate the remaining time before needing to recharge or replace it. The BMS must ensure an efficient way for charging and discharging procedures. In addition, the BMS must maintain the proper SOC so that battery life can be maximized. In this study, a BMS designed for discharging protection on a battery as an energy storage that works to provide electrical energy to an electric load in the form of an electric vehicle, in carrying out its duties the BMS controls the electrical voltage limit to turn off the active switch on the load. The battery used is a Lead-Acid 12 V / 7.2 Ah, the C-rate used to serve the load of the battery discharging process is 0.15 C then the estimated battery capacity in an empty state is 6.4 Ah (SoC = 0%). The results of the study showed that the battery discharged for 6 hours and the cut-off voltage as protection was 10.6 Volts.

Keywords : *Battery, SoC, Discharging, Coulomb,Counting*

Abstrak

Mengetahui SoC baterai penting dalam penggunaan baterai, terutama pada sistem energi terbarukan, kendaraan listrik, perangkat elektronik portabel, dan aplikasi lain yang menggunakan baterai sebagai sumber daya. Dengan mengetahui SoC baterai, pengguna dapat mengelola penggunaan baterai, memperkirakan waktu tersisa sebelum perlu mengisi ulang atau menggantinya. BMS harus memastikan cara yang efisien untuk prosedur pengisian dan pengosongan. Selain itu, BMS harus menjaga SOC yang tepat agar masa pakai baterai dapat dimaksimalkan. Pada penelitian ini merancang BMS proteksi discharging pada sebuah baterai sebagai penyimpan energi yang bekerja untuk memberikan energi listrik kepada sebuah beban listrik berupa kendaraan listrik, dalam melakukan tugasnya BMS mengontrol batas tegangan listrik untuk mematikan sakelar aktif pada beban. Baterai yang digunakan adalah Lead-Acid 12 V / 7,2 Ah, C-rate yang digunakan untuk melayani beban proses pemakaian baterai sebesar 0,15 C kemudian estimasi kapasitas baterai dalam keadaan kosong 6,4 Ah (SoC = 0%). Hasil penelitian didapat terjadi pengosongan baterai selama 6 jam dan besar tegangan cut off sebagai proteksi sebesar 10,6 Volt

Kata Kunci : Baterai, SoC, Pemakaian, Coulomb, Perhitungan.

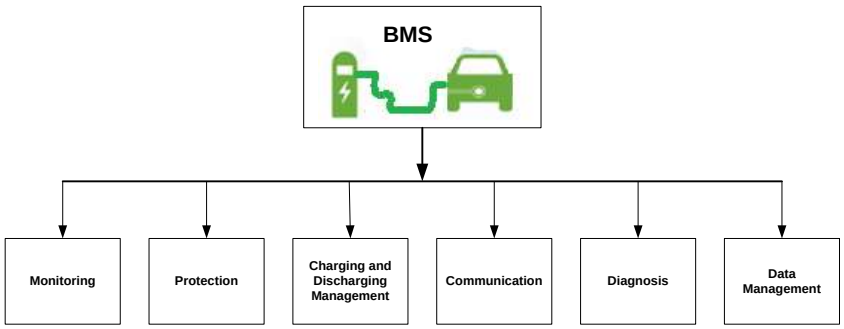
1. PENDAHULUAN

Baterai adalah perangkat elektrokimia yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia dan melepaskannya kembali dalam bentuk energi listrik. Permintaan baterai lithium-ion (Li-ion) untuk kendaraan listrik terus meningkat[1] sejalan permintaan baterai untuk kendaraan listrik[2] seperti diperlihatkan pada gambar 2.8 dibawah. Peningkatan ini didorong oleh peningkatan mobil penumpang listrik[3] dan kapasitas baterai kendaraan listrik baterai (BEV) pada tahun 2020 permintaan kapasitas baterai 56 KWh dan pada tahun 2021 permintaan kapasitas baterai 55 KWh, sedangkan untuk kendaraan listrik plug-in hybrid 13 kWh pada tahun 2020 menjadi 14 kWh pada tahun 2021. Kapasitas baterai rata-rata untuk kendaraan listrik BEV berubah secara regional, dengan peningkatan lebih dari 10% terjadi di Korea dan beberapa negara Eropa. Permintaan baterai global meningkat dua kali lipat pada tahun 2021[3], didorong oleh penjualan mobil listrik di China. Jenis baterai yang paling sering digunakan untuk kendaraan listrik pada abad ke-20 adalah berbasis timbal-asam dan nikel[4] dan kemudian pasar baterai kendaraan listrik kini didominasi baterai Li-ion[5]. Sistem manajemen baterai (BMS) memiliki dua peran utama: yang pertama adalah memantau baterai

DOI:https://doi.org/10.21063/jtv.2025.3.2.179-184

Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0)

untuk menentukan informasi seperti Status Pengisian Daya, Status Baterai (kemampuan baterai untuk mengirimkan output yang ditentukan) dan masa pakai yang Tersisa. Sistem manajemen baterai BMS mengukur berapa banyak arus yang masuk ke dalam baterai dan menghitung muatan yang disimpan di dalam baterai dari waktu ke waktu. Ketika muatan yang dihitung mendekati kapasitas pengenal baterai, maka BMS menginformasikan bahwa baterai telah terisi penuh dan demikain juga sebaliknya mengikuti proses yang sama pada saat pengosongan baterai. Pengembangan Battery Management Systems (BMS) untuk Standar Industri untuk transportasi kendaraan listrik dan penyimpanan energi skala besar (stasioner) saat ini sangat diperlukan, mencakup berbagai aspek BMS termasuk pengujian, komponen, fungsi, topologi, operasi, arsitektur, dan aspek keselamatan BMS[6]



Gambar 1. Fungsional BMS

Pada penelitian ini dilakukan pengujian BMS berdasarkan datasheet baterai manggunakan simulasi MATLAB, adapun pengujian adalah mengidentifikasi SOC baterai pada saat pengosongan (discharge) dengan mengidentifikasi besar tegangan cut off sebagai proteksi

2. METODOLOGI

Untuk mendapatkan hasil penelitian maka diperlukan landasan pemikiran teoritik agar memberikan panduan yang jelas pada proses penelitian dan memutuskan karakteristik data yang akan didapatkan. Adapun data pada penelitian yang digunakan adalah memodelkan bateria Lead-Acid seperti pada tabel 1 data sheet baterai dan gambar 3. Tegangan mode cut-off.

Tabel 1. Data Sheet baterai[7]

Data Sheet	Type Lead-Acid 12 V / 7,2 Ah		
	Nilai	Satuan	Keterangan
Q	7.2	Ah	Kapasitas baterai
Q(nom)	6.4	Ah	Kapasitas nominal baterai
E(nom)	12	V	Tegangan nominal
E(full)	14	V	Tegangan maksimum pengisian
E(exp)	13.7	V	Kontrol tegangan pengisian
C-rate	0.15	C	Arus pengisian
Q(exp)	1.08	Ah	Kapasitas (exp)
Internal Resistance	0.024	Ohm	tahanan dalam baterai

Baterai timbal-asam, baterai komersial pertama, dengan teknologi yang mapan dan harga yang lebih murah telah mendominasi pasar selama lebih dari satu abad. Bahkan masih digunakan untuk kendaraan listrik. Baterai asam timbal (VRLA) mendapat perhatian lebih untuk aplikasi kendaraan listrik karena energi yang tinggi dan kecepatan pengisian ulang yang cepat[4]. datasheet tabulasi tegangan cut-off baterai Lead Acid diperlihatkan pada gambar 2 dibawah

DOI:https://doi.org/10.21063/jtv.2025.3.2.179-184

Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0)

■ Ampere Table(25℃) (Ampere/Battery)

Cut-off V	3min	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	1.5h	2h	3h	4h	5h	6h	10h	20h
9.6V	38.9	30.6	19.9	14.8	12.3	9.10	6.40	5.10	3.50	2.70	2.00	1.53	1.26	1.02	0.670	0.363
9.9V	36.1	28.7	19.5	14.7	12.1	9.00	6.36	5.05	3.43	2.68	1.99	1.52	1.25	1.01	0.667	0.362
10.2V	34.2	26.9	19.0	14.4	11.9	8.90	6.30	5.00	3.36	2.61	1.97	1.51	1.24	1.00	0.660	0.361
10.5V	31.4	24.1	17.6	13.4	11.3	8.70	6.20	4.90	3.29	2.52	1.94	1.50	1.23	0.988	0.657	0.360
10.8V	29.0	22.3	15.7	12.5	11.0	8.40	6.10	4.80	3.20	2.40	1.90	1.48	1.20	0.972	0.650	0.358

All mentioned values are average values

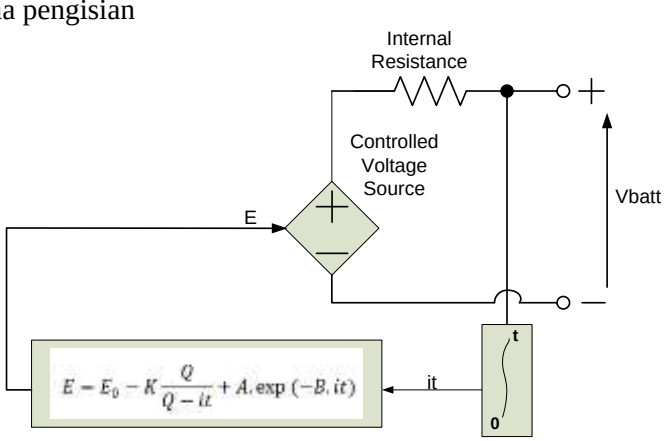
Gambar 2. Tabulasi Tegangan mode cut-off[7]

BMS harus memastikan perlindungan terhadap bahaya sistem baterai. Pengamanan BMS harus dapat mendeteksi model operasi, menetapkan model kesalahan, mengautentikasi, dan mengidentifikasi sistem, memprediksi kelebihan voltase dan arus lebih dan mendeteksi suhu tinggi/rendah[8]. Memonitoring besar arus dan tegangan untuk me-charge dan discharge baterai perlu memperhatikan besarnya SoC saat keadaan 100 % dan 0%. Jika keadaan SoC baterai 100 % maka baterai dapat digunakan dan sebaliknya jika keadaan SoC baterai 0 % maka baterai perlu untuk dilakukan pengisian. Model matematis perhitungan SoC baterai dapat menggunakan metode *coulomb counting* berikut:

$$SoC(t) = SoC(t-1) + \frac{i(t)}{C_n}\Delta t \quad (1)$$

dimana :

SoC(t-1) adalah inisial SoC (kondisi pengisian daya baterai)
C_n adalah kapasitas nominal/maksimum baterai (Ah)
i(t) adalah Besar arus listrik yang masuk atau keluar dari baterai (A)
Δt adalah lama pengisian



Gambar 3. Model *electric circuit based*

Dimana :

E = Tegangan baterai tanpa beban(V)
E0 = Tegangan konstan baterai (V)
K = Polaritas tegangan (V)
Q = Kapasitas baterai (Ah)
$\int i\,dt$ = Arus pengisian (A)
A = *Exponensital zone amplitude* (V)
B = *Exponensital zone time constan invers* (Ah^{-1})
V batt = Tegangan baterai
R = *internal resistance* (Ohm)
i = Arus Baterai (A)

Pada pemodelan baterai ini menggunakan nilai parameter sebagai berikut:

DOI:https://doi.org/10.21063/jtv.2025.3.2.179-184

Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0)

$$A = E_{full} - E_{exp} \tag{2}$$

$$B = \frac{3}{Q_{exp}} \tag{3}$$

$$K = \frac{\left(E_{full} - E_{Nom} + A(\exp(-B.Q_{Nom}) - 1)\right).(Q - Q_{nom})}{Q_{nom}} \tag{4}$$

$$E_0 = E_{full} + K + (R.Q_{exp}) - A \tag{5}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

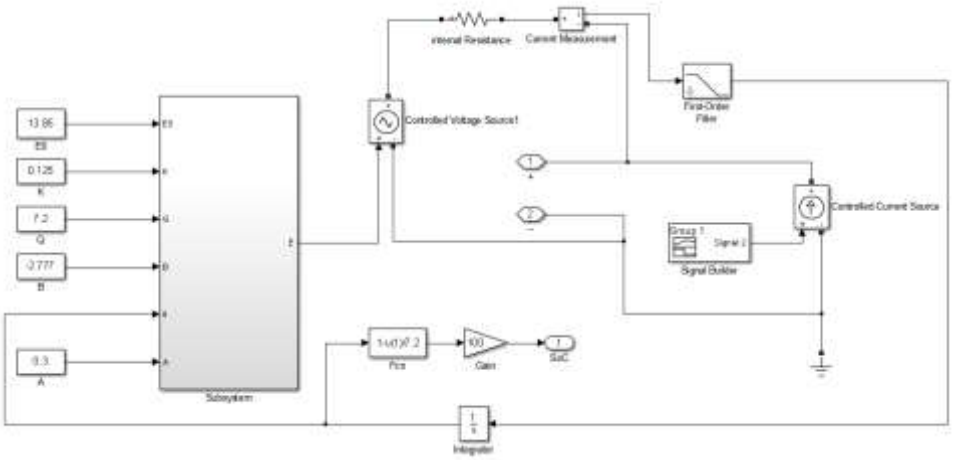
Pada penelitian ini nilai discharge current (proses pengosongan) baterai sebesar (C-rate) 0,15 Coulomb, kemudian perhitungan model *Electric Circuit Based* (ECB) mengacu pada persamaan 2,3,4 dan 5 pemodelan baterai diatas. Hasil parameter perhitungan model ECB diperlihatkan pada Tabel 2 parameter model ECB

Tabel 2. Parameter Model ECB

Model Elektric Circuit Based	
Parameter	Nilai
A (V)	0.3
K (V)	0.125
B $(Ah)^{-1}$	2.77778
E0 (V)	13.85092
Load Resistance (Ohm)	11.11111

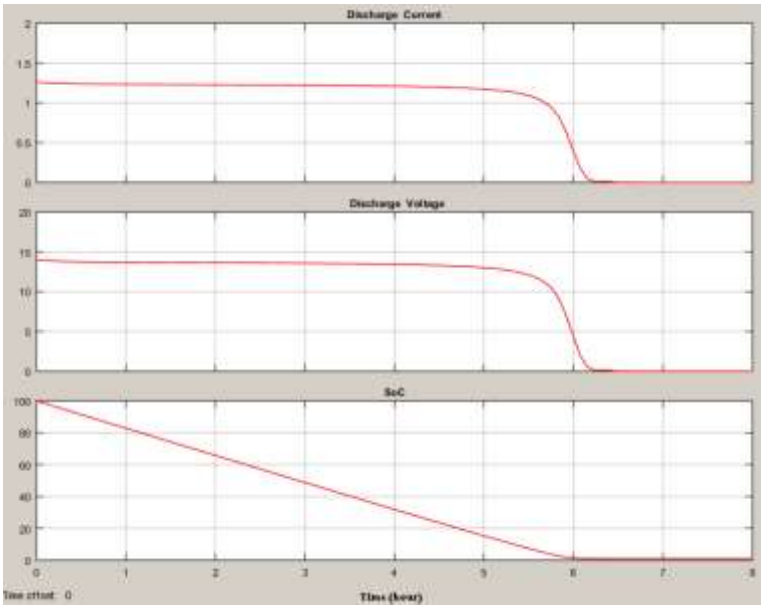
3.1 Simulasi Metode Coulomb Conting Discharge (pengosongan baterai)

Proses pengosongan baterai sebagai penyimpanan energi listrik diasumsikan baterai dalam keadaan terisi penuh, kemudian sebagai penyimpan energi baterai ini akan digunakan untuk sebagai sumber energi listrik kendaraan listrik.



Gambar 4. Simulasi Metode *Coulomb Counting* Discharge dan Charge

Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0)



Gambar 5. Discharge Karakteristik Arus, Tegangan dan SoC

Tabel 3. Data pengukuran Arus, Tegangan

No	Waktu (JAM)	Arus (A)	Tegangan (V)	SoC (%)	Q(Ah)
	0.000	1.257	13.969	100	7.2
1	0.125	1.250	13.887	98	7.17
2	0.365	1.240	13.772	94	7.14
3	0.605	1.235	13.718	90	7.10
4	0.845	1.232	13.690	85	7.07
5	1.085	1.231	13.674	81	7.04
6	1.325	1.230	13.662	77	7.01
7	1.565	1.229	13.651	73	6.98
8	1.805	1.228	13.640	69	6.94
9	2.045	1.227	13.628	65	6.91
10	2.285	1.226	13.615	61	6.88
11	2.525	1.224	13.601	57	6.85
12	2.765	1.223	13.584	53	6.82
13	3.005	1.221	13.564	49	6.78
14	3.245	1.219	13.540	45	6.75
15	3.485	1.216	13.512	41	6.72
16	3.725	1.213	13.478	36	6.69
17	3.965	1.209	13.436	32	6.66
18	4.205	1.204	13.381	28	6.62
19	4.445	1.198	13.309	24	6.59
20	4.685	1.189	13.209	20	6.56
21	4.925	1.176	13.063	16	6.53
22	5.165	1.155	12.830	13	6.50
23	5.405	1.116	12.403	9	6.46
24	5.645	1.028	11.422	5	6.43
25	5.875	0.954	10.599	0	6.40

DOI:https://doi.org/10.21063/jtv.2025.3.2.179-184

Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0)

Dari tebel 3 diatas didapat data arus dan tegangan pada saat pengosongan (*Discharge*) adalah selama 6 jam. Waktu ini didapat setiap pengambilan data adalah 14,4 menit sebanyak 25 kali pengambilan data, besar kapasitas baterai penuh adalah 7,2 AH dan saat pemgosongan 6,4 Ah kemudian didapat besar tegangan cut off adalah 10,6 dan arusnya 0.95 A. Presisi hasil simulasi sama dengan datasheet baterai Lead-Acid 12 V/7,2 Ah yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

4. KESIMPULAN

Baterai Lead-Acid 12 V/7,2 Ah pada kapasitas baterai penuh 7,2 Ah (SoC = 100%) jika dilakukan pengosongan (*Discharge*) dengan arus (C-rate) 0,15 Coulomb dengan estimasi kapasitas baterai dalam keadaan kosong 6,4 Ah (SoC = 0%) maka didapat proses pengosongan baterai selama 6 jam dengan besar tegangan cut off sebagai proteksi 10,6 Volt. Status (SOC) ini berdampak signifikan pada umur baterai jika memperhatikan siklus pengisian dan pengosongan pada C-rate baterai. Setiap baterai memiliki jumlah siklus pengisian dan pengosongan tertentu sesuai datasheet baterai.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Mahmoudzadeh Andwari, A. Pesiridis, S. Rajoo, R. Martinez-Botas, and V. Esfahanian, "A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 78, no. October 2015, pp. 414–430, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.03.138.

[2] W. Vermeer, G. R. C. Mouli, and P. Bauer, "Real-time building smart charging system based on PV forecast and Li-Ion battery degradation," *Energies*, vol. 13, no. 13, pp. 95–120, 2020, doi: 10.3390/en13133415.

[3] IEA, "Global Supply Chains of EV Batteries," 2022. [Online]. Available: www.iea.org/t&c/

[4] J. Garche, P. T. Moseley, and E. Karden, *Lead-acid batteries for hybrid electric vehicles and battery electric vehicles*. Elsevier Ltd., 2015. doi: 10.1016/B978-1-78242-377-5.00005-4.

[5] R. Schmuch, R. Wagner, G. Hörpel, T. Placke, and M. Winter, "Performance and cost of materials for lithium-based rechargeable automotive batteries," *Nat. Energy*, vol. 3, no. April, 2018, doi: 10.1038/s41560-018-0107-2.

[6] H. A. Gabbar, A. M. Othman, and M. R. Abdussami, "Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards," *Technologies*, vol. 9, no. 2, 2021, doi: 10.3390/technologies9020028.

[7] N. Voltage, I. Resistance, and S. Discharge, "LC-V127R2," 2010.

[8] S. O. C. Estimation, "Dual-Layer Inductor Active Equalization Control for Series-Connected Lithium-Ion Batteries Based on," 2022.

Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0)