

Prototipe *Battery Management System* dalam Fasilitas Operasi Perkeretaapian

Irfan Wahyu Cakra Nugraha^{1*)}, Santi Triwijaya², Yuwono Wiarco³, Maman Rukmana⁴,
Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun^{1,2,3}
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung⁴
^{*)} *corresponding author* : wahyu.tep20202135@taruna.ppi.ac.id

ABSTRAK

Semakin pentingnya baterai yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari termasuk dalam kelistrikan fasilitas operasi perkeretaapian, serta untuk menjaga kualitas dan keandalan baterai, menyebabkan *Battery Management System* (BMS) sangat diperlukan. BMS dapat digunakan untuk menghindari *over charge*, *short circuit* dan suhu ekstrim pada baterai. Tujuan dari perancangan prototipe BMS ini yaitu untuk memonitoring nilai SOC dan SOH baterai secara *real time*. Nilai SOC dihitung dengan metode *Open Circuit Voltage* (OCV) dan metode *Coloumb Counting* (CC). Sedangkan nilai SOH dihitung dengan membandingkan muatan saat ini dan muatan kondisi baru. Pada prototipe BMS, sensor pembagi tegangan, sensor arus dan sensor suhu dihubungkan pada baterai. Data dari ketiga sensor tersebut akan diolah dengan Arduino dan dikirim ke *software* LabView. LabView akan menampilkan nilai tegangan, arus, suhu, SOC dan SOH baterai. Dari hasil pengujian menggunakan jenis baterai baru dan lama, komponen sensor BMS berfungsi dengan akurasi yang tinggi. Baterai baru memiliki kinerja pengisian dan pengosongan yang lebih baik daripada baterai lama. Baterai lama juga memiliki suhu yang lebih panas dibandingkan dengan baterai baru. Oleh karena itu, BMS sangat diperlukan untuk menjaga kondisi baterai agar bekerja dengan baik.

Kata Kunci: Baterai, Battery Management System, State of Charge, State of Health

ABSTRACT

The increasing importance of the battery used in everyday life include in the railway electrical operation facility, as well as to maintain the quality and reliability of the battery, makes a Battery Management System (BMS) indispensable. BMS can be used to avoid overcharging, short circuits, and extreme temperatures on batteries. The purpose of designing this BMS prototype is to monitor the SOC and SOH values of the battery in real-time. The SOC value is calculated using the Open Circuit Voltage (OCV) method and the Columb Counting (CC) method. Meanwhile, the SOH value is calculated by comparing the current load and the new condition load. In the BMS prototype, the voltage divider sensor, current sensor, and temperature sensor are connected to the battery. Data from the three sensors will be processed by Arduino and sent to the LabView software. LabView will display the battery's voltage, current, temperature, SOC, and SOH values. From the test results using old and new batteries, the BMS sensor components function with high accuracy. New batteries have better charge and discharge performance than old batteries. Old batteries also have a hotter temperature than new batteries. Therefore, BMS is needed to maintain the condition of the battery so that it works properly.

Keywords: Battery, Battery Management System, State of Charge, State of Health

1 PENDAHULUAN

Baterai merupakan sel elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik [1]. Baterai memegang peran penting dalam penyimpanan energi dalam berbagai macam penerapan [2]. Sistem kelistrikan skala besar seperti gardu induk, baterai memberikan energi listrik untuk peralatan kontrol gardu induk [1]. Sedangkan pada komponen elektronik lainnya, baterai digunakan sebagai sumber energi untuk ponsel, laptop, kamera dan perangkat medis [3]. Seiring dengan pentingnya baterai, maka untuk menjaga kualitas dan keandalan baterai, saat ini *Battery Management System* (BMS) sangat diperlukan. Hal ini diperlukan untuk menghindari *over charge*, *over discharge*, *over current*, *short circuit* dan suhu ekstrim

pada baterai. Fitur pada BMS seperti pemodelan baterai, estimasi status baterai, pengisian daya dan pemakaian daya. Dengan adanya BMS, diharapkan dapat mendeteksi kondisi tidak aman pada baterai, melindungi baterai dari kerusakan saat terjadi kegagalan dan memperpanjang umur baterai [4].

Beberapa permasalahan pada sistem kelistrikan karena gangguan baterai terjadi pada sektor industri. Salah satu permasalahan tersebut yaitu pada tahun 2023, baterai pada UPS Stasiun Fatmawati PT. MRT Jakarta mengalami *under voltage* (terukur 6 Volt), yang seharusnya 12 Volt. Pada sistem kelistrikan PT. MRT Jakarta tersebut belum memiliki BMS. Untuk menjaga performa baterai, BMS diperlukan dengan menentukan perhitungan nilai *State of Charge* (SOC) dan *State of*

Health (SOH). SOC menunjukkan perhitungan energi sisa pada baterai yang dibandingkan dengan energi pada saat baterai ter-charge penuh [2]. Sedangkan SOH menunjukkan kesehatan baterai yang dihitung berdasarkan perbandingan kapasitas pengosongan baterai terhadap kapasitas baterai baru dalam kondisi tertentu [5].

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memonitoring kondisi baterai. Metode *Coloumb Counting* (CC) digunakan untuk menghitung nilai SOC baterai, dimana jumlah muatan baterai berbanding lurus dengan nilai SOC [3], [6]. Metode CC akurat untuk mengestimasi SOC saat *charging* dan *discharging*, tetapi tidak dapat menentukan nilai SOC awal. Sementara itu, Metode *Open Circuit Voltage* (OCV) digunakan untuk menghitung SOC awal [7]. Adapun perhitungan SOH telah dilakukan pada baterai lithium-ion [8] [9] [10].

Dalam makalah ini, *Battery Management System* (BMS) dirancang untuk memonitoring nilai SOC dan SOH secara *real time*. Nilai SOC dihitung dengan gabungan metode *Coloumb Counting* dan metode *Open Circuit Voltage*. Sedangkan nilai SOH dihitung dengan mempertimbangkan dua kondisi jumlah muatan baterai. Nilai SOC dan SOH ditampilkan secara visual dengan *software* LabView.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Nomenclature

I	Arus terukur pada baterai (A)
Q	Muatan listrik (Coloumb)
Q_{rate}	Nilai maksimum kapasitas baterai (Coloumb)
SOC	Nilai SOC saat waktu $t = n$ (%)
SOC_0	Nilai SOC sebelum pengisian atau pengosongan (%)
SOH	Nilai SOH baterai (%)
t	Waktu (detik)
t_0	Waktu sebelum pengisian atau pengosongan (detik)
t_n	Waktu saat $t = n$ (detik)
V	Nilai tegangan (Volt)

2.2 Perhitungan *State of Charge* Baterai

State Of Charge dapat dijelaskan sebagai perbandingan antara energi yang masih tersisa dan kapasitas energi penuh yang dapat disimpan dalam baterai [6]. Nilai SOC ini berkisar antara 0% hingga 100%. Nilai SOC 0% menunjukkan bahwa energi baterai telah habis, sedangkan nilai SOC 100% menunjukkan energi baterai terisi penuh [11]. Perhitungan nilai SOC adalah

salah satu hal vital dalam baterai. Akurasi nilai sensor yang akurat sangat diperlukan untuk menentukan SOC untuk mencegah kerusakan sistem, *over charge* dan *over discharge* yang dapat menimbulkan kerusakan permanen pada baterai. SOC memberikan informasi mengenai kondisi baterai saat ini dan memungkinkan pengisian dan pengosongan baterai pada tingkat yang tepat agar masa pakai baterai dapat ditingkatkan dengan aman [12].

Dalam makalah ini, perhitungan SOC baterai menggunakan 2 metode yaitu:

2.2.1 Metode *Coloumb Counting*

Perhitungan nilai SOC menggunakan *Coulomb Counting* dilakukan berdasarkan jumlah muatan listrik (*Coulomb*) yang masuk ke dalam baterai atau keluar dari baterai. Jumlah muatan listrik yang mengalir dalam suatu periode waktu (detik) akan menghasilkan nilai arus. Proses perhitungan [6] jumlah *coulomb* pada baterai dapat dilakukan dengan rumus integral jumlah arus yang masuk dan keluar per satuan waktu. Metode CC dapat dihitung dengan persamaan berikut [13]:

$$SOC = SOC_0 + \left(\frac{\int_{t_0}^{t_n} I dt}{Q_{rate}} \times 100 \right) \quad (1)$$

$$Q = I t \quad (2)$$

Dalam penelitian ini, diasumsikan efisiensi pengisian baterai adalah 0,99 karena baterai dianggap dalam kondisi baru dan tidak terdapat *losses* pada terminal kutub baterai.

2.2.2 Metode *Open Circuit Voltage*

Perhitungan menggunakan metode *Open Circuit Voltage*, SOC didasarkan pada nilai tegangan *open circuit* atau tanpa beban. Dalam penentuan nilai SOC pada baterai, metode *Open Circuit Voltage* dianggap efektif. Namun disisi lain perlu mempertimbangkan periode istirahat (*rest period*) pada baterai. Dari referensi [14], untuk mendapatkan nilai tegangan *open circuit* maka dapat dilakukan dalam rentang waktu 30 menit–2 jam. Hubungan linieritas antara SOC baterai dan tegangan *open circuit* sebagai berikut [7]

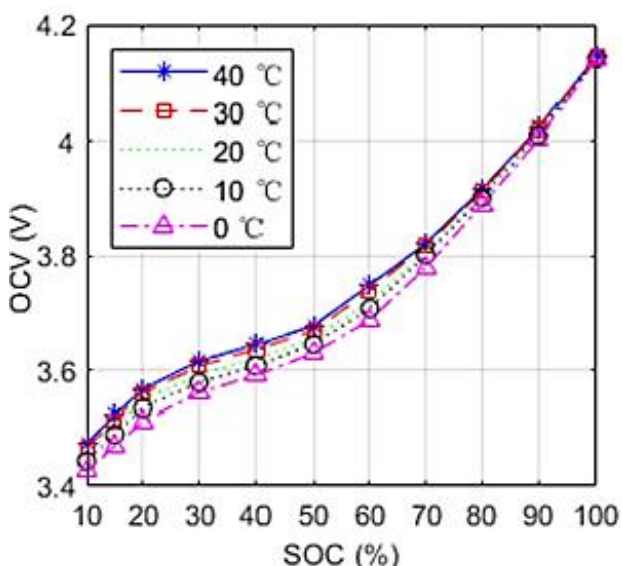
$$SOC = \frac{V_{saat\ ini} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \times 100\% \quad (3)$$

Metode OCV berdasarkan tegangan *open circuit* pada baterai akan ekuivalen dengan nilai SOC ketika terputus dari beban untuk jangka waktu lebih dari dua jam. Metode ini cocok untuk menentukan nilai awal atau akhir SOC baterai ketika dilakukan pengisian atau pengosongan baterai.

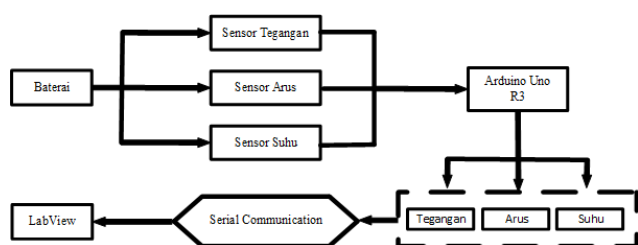
2.3 Perhitungan State of Health Baterai

Perhitungan *State of Health* (SOH) pada sistem manajemen baterai digunakan untuk memprediksi sisa masa pakai atau sisa siklus pengisian daya yang tersisa dari baterai [15]. SOH baterai dicirikan dengan parameter yang berubah lambat seperti kapasitas memudar dan peningkatan resistansi, bervariasi dengan siklus dan karenanya dipantau dalam skala waktu yang lama [5].

Nilai SOH dihitung berdasarkan pengukuran tunggal baik impedansi sel atau konduktansi sel. Dengan mengakumulasi muatan yang didapat pada saat baterai dilakukan pengisian, maka didapat data muatan tersisa dari baterai yang mampu disimpan oleh baterai. Dibandingkan dengan muatan penuh baterai pada saat baterai baru. Baterai harus diganti jika kapasitas baterai yang terisi penuh kurang dari 80% kapasitas terukur baterai berdasarkan standar IEEE 1188-1996. Nilai SOH baterai dapat dihitung dengan [5].



Gambar 1. Karakteristik OCV terhadap SOC [11]



Gambar 2. Diagram blok sistem

$$SOH = \frac{Q}{Q_{rate}} \times 100\% \quad (4)$$

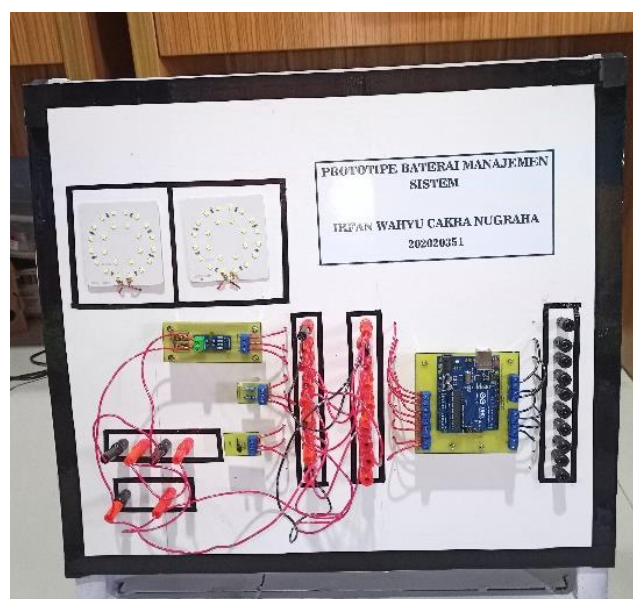
2.4 Diagram Blok

Prototipe, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, terdiri dari 3 input yang berasal dari sensor tegangan, sensor arus ACS 712 dan sensor suhu LM35. Inputan

sensor diproses oleh Arduino Uno saat mendapatkan sinyal input dari sensor. Setelah diolah, menghasilkan sinyal output untuk mengendalikan proses. Secara umum, terdapat dua output pada sistem ini. Pertama, output berupa proteksi pengisian daya terhadap terjadinya *overcharge* dengan men-*de-energize* relay pada *Charger* Baterai saat nilai tegangan sudah mencapai tegangan *cut off* pada sensor input. Kedua, output data untuk tampilan monitoring yang dikirimkan dengan kabel USB ke laptop. Tampilan monitoring menampilkan parameter tegangan, arus, suhu, nilai SOC dan nilai SOH baterai pada *software* LabView. Tampilan prototipe BMS ditampilkan pada gambar 3.

2.5 Metode Pengujian

Pengujian dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan baterai dengan spesifikasi pada tabel 1. Pengujian prototipe terdiri dari tiga, yaitu pengujian sensor, pengujian pengisian dan pengujian pengosongan. Pengujian sensor menggunakan 10 jenis beban yang berbeda untuk mengetahui tingkat akurasi tiap-tiap sensor. Beban yang digunakan ditunjukkan pada tabel 2.



Gambar 3. Tampilan prototipe BMS

Tabel 1. Spesifikasi baterai

Parameter	Keterangan
Manufaktur	VRLA Yuasa NP-7 12
Kapasitas	7 Ah
Tegangan Nominal Baterai	12 V
Jumlah Baterai	2 buah (1 baru dan 1 lama)

Tabel 2. Jenis Beban pada Pengujian Sensor

Beban	Jenis Beban	Konfigurasi
1	1 Lampu 5 W	-
2	1 Lampu 25 W	-
3	1 Lampu 25 W dan 1 Lampu 5 W	Seri
4	1 Lampu 25 W dan 1 Lampu 5 W	Paralel
5	1 Lampu 25 W dan 1 Lampu 25 W	Seri
6	1 Lampu 25 W dan 1 Lampu 25 W	Paralel
7	1 Lampu 25 W, 1 Lampu 5 W, 1 Lampu 5W	Seri
8	1 Lampu 25 W, 1 Lampu 5 W, 1 Lampu 5W	Paralel
9	Fan 0,02A	-
10	Fan 0,03A	-

Pengujian sensor (arus, tegangan dan suhu) dilakukan dengan mengukur rata-rata tingkat akurasi sensor yang digunakan dengan dibandingkan hasil pengukuran dari alat ukur (multimeter atau termogun). Output dari pengujian sensor adalah akurasi yang dihitung dengan rata-rata error dari beberapa pengujian. Rata-rata error dihitung dengan [3]:

$$Error = \frac{Deviation Value}{Measured Value} \times 100\% \quad (5)$$

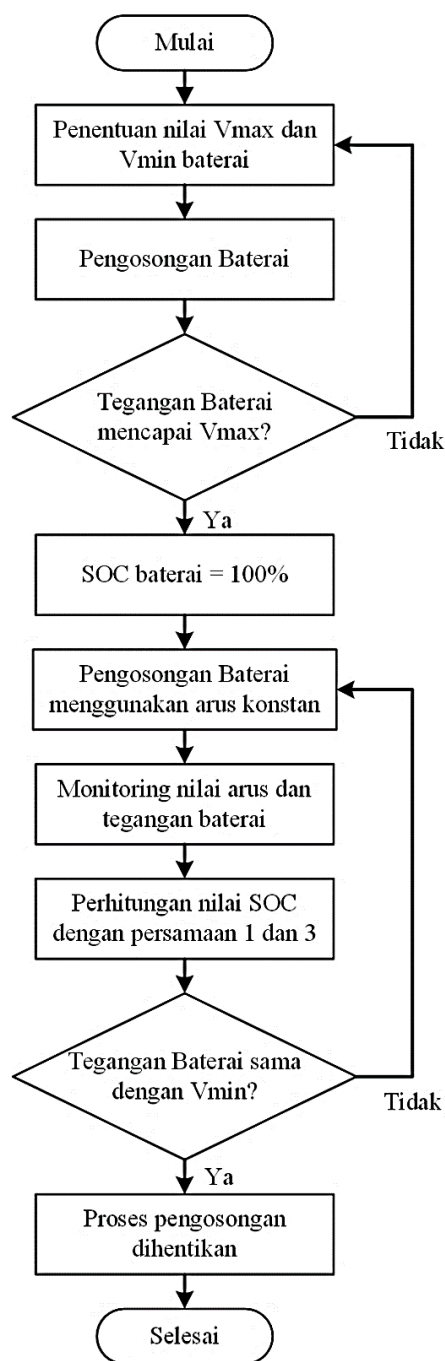
$$Average Error = \frac{\sum Error}{\sum Testing} \quad (6)$$

$$Akurasi (\%) = 100\% - (Average Error) \quad (7)$$

Tabel 3. Jenis Beban pada Pengujian Pengosongan

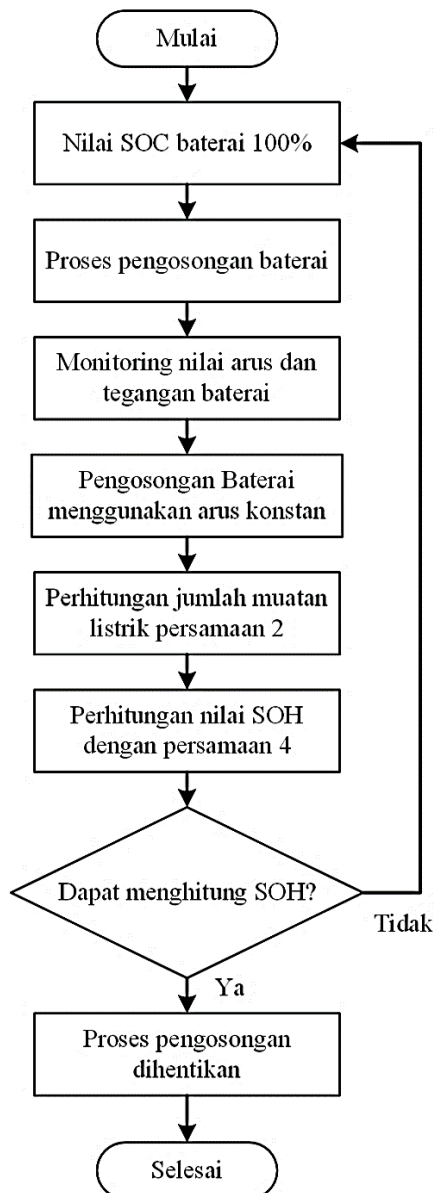
Beban	Jenis Beban	Konfigurasi
11	1 Lampu 25W	-
12	2 buah Lampu 25W	Paralel

Pengujian pengosongan diawali dengan baterai di-charge sampai 100%, lalu dimulai proses pengosongan hingga 0%. Jenis beban yang digunakan sesuai tabel 3. Pengujian pengosongan dilakukan dengan dua tahapan, yaitu perhitungan nilai SOC dan perhitungan nilai SOH. Perhitungan nilai SOC dengan metode CC dan OCV pada pengosongan baterai ditunjukkan seperti pada gambar 4. Sedangkan untuk perhitungan SOH ditunjukkan pada gambar 5. Saat pengosongan baterai, data yang diambil berupa tegangan, arus dan waktu pengosongan baterai.



Gambar 4. Flowchart perhitungan SOC saat pengosongan baterai

Sementara itu, untuk memulai pengujian pengisian baterai, baterai harus dikosongkan hingga 0% agar waktu yang diperlukan baterai mencapai 100% akurat. Pengisian baterai hanya menghitung nilai SOC. Perhitungan nilai SOC saat pengisian baterai dijelaskan pada gambar 6. Saat pengisian baterai, data yang diambil berupa tegangan, arus dan waktu pengisian baterai. Jenis beban yang digunakan sesuai tabel 3.



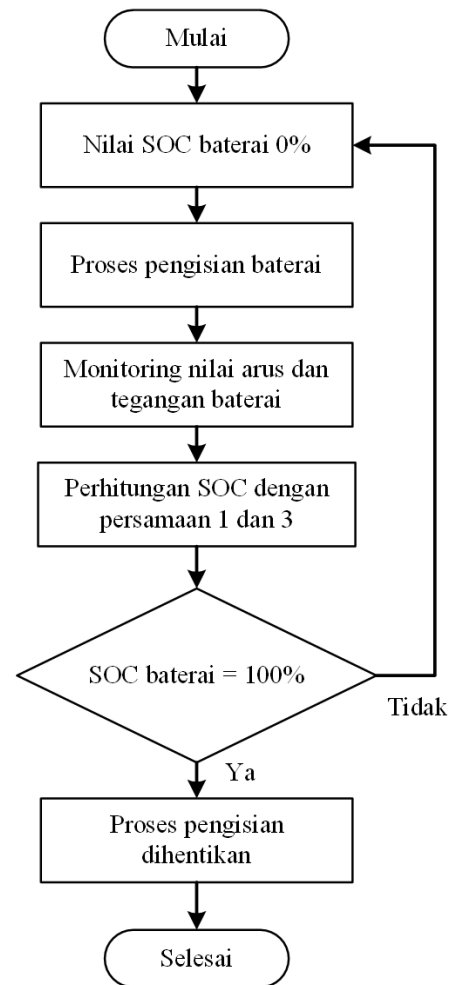
Gambar 5. Flowchart perhitungan SOH saat pengosongan baterai

3 HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengujian Sensor

3.1.1 Pegujian Sensor Tegangan

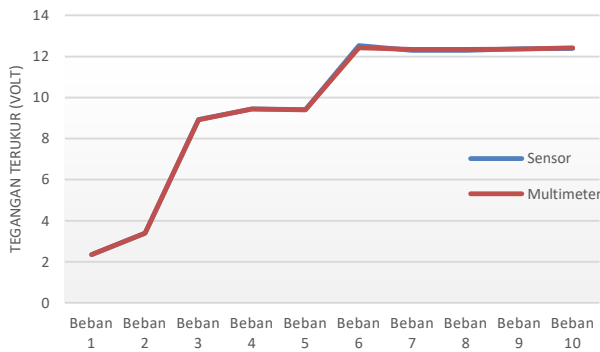
Sensor tegangan yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis sensor pembagi tegangan dengan dua buah resistor. Sensor tegangan berfungsi sebagai penentu SOC pertama kali dengan menggunakan metode OCV. Sensor pembagi tegangan dengan rentang maksimal yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan ini dipasang seri dalam rangkaian alat untuk menghitung perubahan SOC berdasarkan metode OCV. Berikut hasil pengujian sensor pembagi tegangan dibandingkan dengan alat ukur multimeter.



Gambar 6. Flowchart perhitungan SOC saat pengisian baterai

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Beban	Hasil Sensor Tegangan (V)	Hasil Pengukuran Multimeter (V)	Deviation (%)	Error (%)
1	2,350	2,35	0,00	0,00
2	3,400	3,40	0,00	0,00
3	8,935	8,91	0,02	0,23
4	9,452	9,44	0,01	0,10
5	9,421	9,40	0,02	0,21
6	12,53	12,42	0,11	0,88
7	12,30	12,34	0,04	0,32
8	12,30	12,34	0,04	0,32
9	12,38	12,37	0,01	0,08
10	12,40	12,42	0,02	0,16
			Σ Deviation (V)	0,27
			Average Deviation (V)	0,027
			Σ Error (%)	2,30
			Average Error (%)	0,23



Gambar 7. Grafik hasil pengujian sensor tegangan

Berdasarkan data dari tabel 4 diatas, dapat diketahui bahwa akurasi sensor tegangan ini adalah $100\% - 0.23\% = 99,77\%$. Data pada tabel 4 diatas ditampilkan dalam grafik pada gambar 7 berikut.

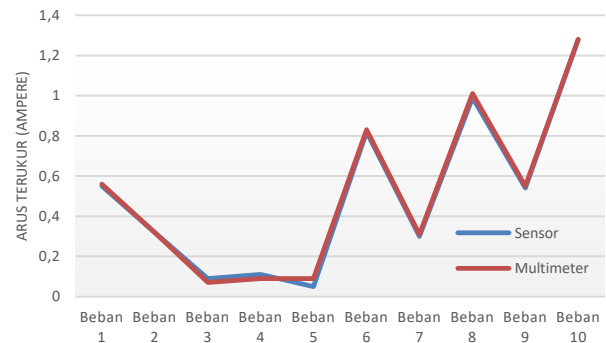
3.1.2 Pengujian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan pada penelitian ini berperan sangat krusial dikarenakan metode CC yang digunakan untuk mengestimasi perubahan SOC dalam pengisian maupun pengosongan daya sangat bergantung dengan nilai arus yang terbaca pada sensor arus. Pengujian sensor arus ini sangat penting untuk mendapatkan nilai arus yang akurat. Sensor arus ACS712 dengan rentang maksimal 5A ini dipasang seri dalam rangkaian untuk menghitung perubahan SOC berdasarkan metode *coulomb counting*. Berikut hasil pengujian sensor arus dibandingkan dengan alat ukur multimeter.

Berdasarkan data dari tabel 5 diatas, dapat diketahui bahwa akurasi sensor arus ini adalah $100\% - 0,607\% = 99,393\%$. Data pada tabel 5 diatas ditampilkan dalam grafik pada gambar 8 berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor Arus

Beban	Hasil Sensor Arus (A)	Hasil Pengukuran Multimeter (A)	Deviation (%)	Error (%)
1	0,559	0,56	0,10	1,70
2	0,321	0,32	0,01	0,31
3	0,097	0,07	0,20	0,28
4	0,112	0,09	0,20	0,22
5	0,050	0,09	0,40	0,44
6	0,820	0,83	0,10	0,01
7	0,308	0,31	0,10	0,32
8	0,997	1,01	0,10	0,99
9	0,549	0,55	0,10	1,80
10	1,280	1,28	0,00	0,00
Σ Deviation (V)				1,31
Average Deviation (V)				0,131
Σ Error (%)				6,07
Average Error (%)				0,607



Gambar 8. Grafik hasil pengujian sensor arus

Tabel 6. Hasil Pengujian Sensor Suhu

Beban	Hasil Sensor Suhu (°C)	Hasil Pengukuran Thermogun (°C)	Deviation (%)	Error (%)
1	34,6	34,9	0,3	0,85
2	34,5	34,7	0,2	0,57
3	37,1	37,2	0,1	0,26
4	31,1	31,2	0,1	0,32
5	32,6	32,3	0,3	0,92
6	33,3	33,1	0,2	0,60
7	32,3	32,5	0,2	0,61
8	29,7	29,7	0,0	0,00
9	30,1	30,0	0,1	0,33
10	34,3	34,9	0,6	1,71
Σ Deviation (V)				2,10
Average Deviation (V)				0,21
Σ Error (%)				6,17
Average Error (%)				0,617

3.1.3 Pengujian Sensor Suhu

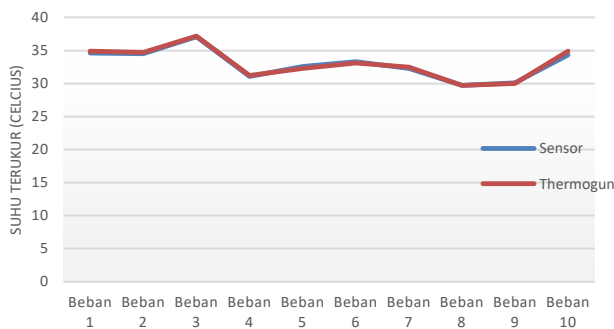
Pengujian sensor suhu dilakukan dengan membandingkan tingkat akurasi sensor LM35 dengan *thermogun*. Sensor suhu untuk mengetahui suhu pada baterai tersebut agar tetap sesuai batas toleransi pada spesifikasi baterai. Suhu yang sesuai dapat membuat baterai lebih awet dan daya yang disalurkan maksimal. Berikut hasil pengujian sensor suhu dengan alat ukur *thermogun*.

Berdasarkan data dari tabel 6 diatas, dapat diketahui bahwa akurasi sensor suhu ini adalah $100\% - 0,617\% = 99,383\%$. Data pada tabel 6 diatas ditampilkan dalam grafik pada gambar 9 berikut.

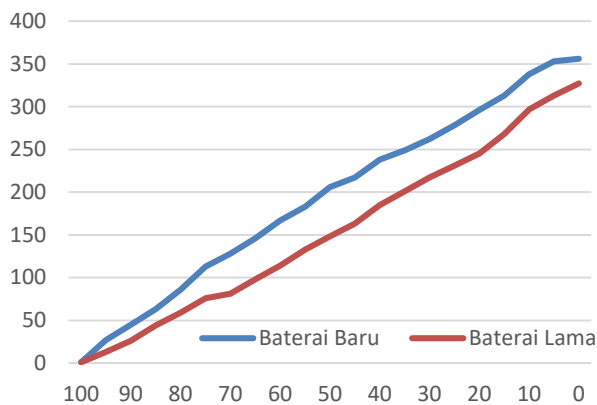
3.2 Pengujian Pengosongan Baterai

Pengujian pengosongan baterai dilakukan untuk mengetahui perubahan tegangan, arus, suhu, nilai SOC dan nilai SOH baterai. Karena menggunakan 2 jenis baterai yang baru dan lama, akan diketahui perbedaan hasil pengujian terhadap 2 jenis baterai tersebut. Baterai di-charge hingga mencapai tegangan maksimal *charging* sebesar ± 13 Volt. Baterai dipasang ke BMS sesuai beban pada tabel 3. Setiap 5% terjadi perubahan

nilai SOC, parameter seperti tegangan, arus dan suhu akan tercatat.



Gambar 9. Grafik hasil pengujian sensor suhu



Gambar 10. Grafik SOC terhadap waktu pengosongan baterai dengan beban 11

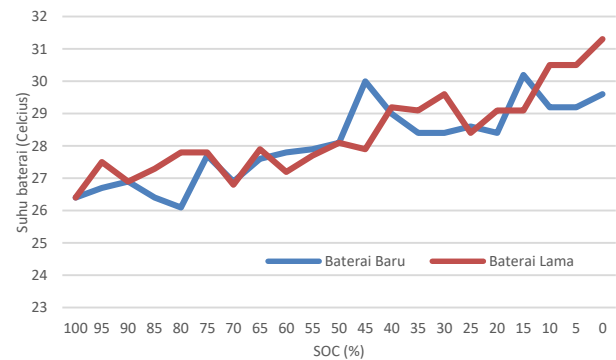
3.2.1 Pengosongan Baterai dengan Beban 11

Pengujian pengosongan dengan beban 11 (1 buah lampu 12V 25W) terdiri dari dua pengujian, yaitu pengujian SOC dan pengujian SOH. Hasil pengujian SOC saat pengosongan baterai tertampil pada gambar 10 dan 11. Gambar 10 menunjukkan grafik hubungan nilai SOC terhadap waktu pengosongan, sedangkan gambar 11 menunjukkan grafik hubungan nilai SOC terhadap suhu baterai.

Dari gambar 10, dapat diketahui bahwa dengan nilai SOC yang sama, baterai lama memiliki waktu pengosongan yang lebih cepat dibandingkan dengan baterai baru. Hal ini karena arus dan tegangan pada baterai lama lebih rendah dibandingkan dengan baterai baru. Sedangkan pada gambar 11, dengan nilai SOC yang sama, baterai lama relatif memiliki suhu yang lebih tinggi daripada baterai baru.

Sementara itu, data pengujian SOH berupa waktu pengosongan dan arus untuk mencapai 0% kapasitas baterai. Pengujian dilakukan 3 kali setiap kondisi untuk

mendapatkan data yang valid. Nilai SOH dapat diketahui jika memiliki data waktu pengosongan dan arus yang dibutuhkan untuk mengosongkan baterai. Hal ini menyebabkan nilai waktu dan arus sangat penting untuk menentukan jumlah muatan didalam baterai. Hasil pengujian



Gambar 11. Grafik SOC terhadap suhu baterai saat pengosongan dengan beban 11

Tabel 7. Hasil Pengujian SOH pada pengosongan baterai baru dengan beban 11

Waktu Pengosongan (jam)	Arus (A)	Mutatan (C)	SOH (%)
12,0	0,511	6,132	87,6
11,9	0,508	6,045	86,3
11,7	0,504	5,896	84,2

Tabel 8. Hasil Pengujian SOH pada pengosongan baterai lama dengan beban 11

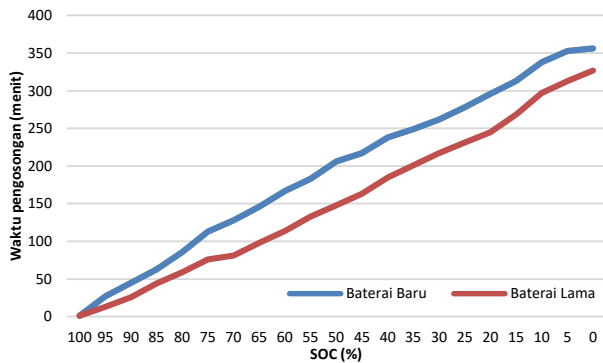
Waktu Pengosongan (jam)	Arus (A)	Mutatan (C)	SOH (%)
10,56	0,486	5,135	73,36
10,49	0,478	5,014	71,60
10,37	0,471	4,884	69,70

SOH saat pengosongan baterai dengan beban 11 tertampil pada tabel 7 dan 8.

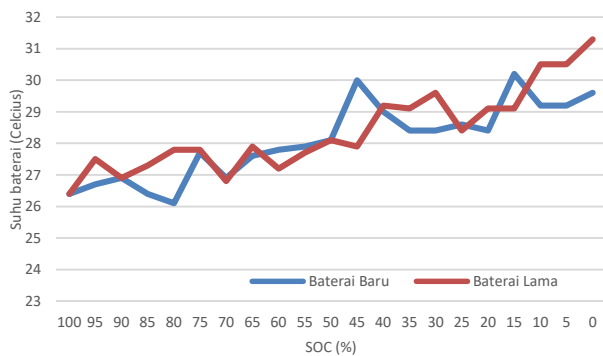
Dari tabel 7 dan 8, dapat diketahui bahwa nilai SOH baterai lama lebih rendah dibandingkan dengan baterai baru. Hal tersebut karena baterai lama memiliki jumlah kapasitas muatan yang lebih rendah daripada baterai baru.

3.2.2 Pengosongan Baterai dengan Beban 12

Hasil pengujian pengosongan baterai dengan beban 12 (2 buah lampu 12V 25W tersusun paralel) tertampil pada gambar 12 dan 13. Gambar 12 menunjukkan grafik hubungan nilai SOC terhadap waktu pengosongan, sedangkan gambar 13 menunjukkan grafik hubungan nilai SOC terhadap suhu baterai.



Gambar 12. Grafik SOC terhadap waktu pengosongan baterai dengan beban 12



Gambar 13. Grafik SOC terhadap suhu baterai saat pengosongan dengan beban 12

Dari gambar 12, dapat diketahui bahwa dengan nilai SOC yang sama, baterai lama memiliki waktu pengosongan yang lebih cepat dibandingkan dengan baterai baru. Hal ini karena arus dan tegangan pada baterai lama lebih rendah dibandingkan dengan baterai baru. Sedangkan pada gambar 13, dengan nilai SOC yang sama, baterai lama relatif memiliki suhu yang lebih tinggi daripada baterai baru.

Sementara itu, hasil pengujian SOH saat pengosongan baterai dengan beban 12 tertampil pada tabel 9 dan 10.

Dari tabel 9 dan 10, dapat diketahui bahwa nilai SOH baterai lama lebih rendah dibandingkan dengan baterai baru. Hal tersebut karena baterai lama memiliki jumlah kapasitas muatan yang lebih rendah daripada baterai baru.

Tabel 9. Hasil Pengujian SOH pada pengisian baterai baru dengan beban 12

Waktu Pengosongan (jam)	Arus (A)	Mutatan (C)	SOH (%)
5,89	1,024	6,04	86,2
5,80	1,017	5,90	84,2
5,77	1,014	5,85	83,5

Tabel 10. Hasil Pengujian SOH pada pengisian baterai lama dengan beban 12

Waktu Pengosongan (jam)	Arus (A)	Mutatan (C)	SOH (%)
5,45	0,952	5,18	74,0
5,38	0,944	5,07	72,4
5,40	0,946	5,10	72,8

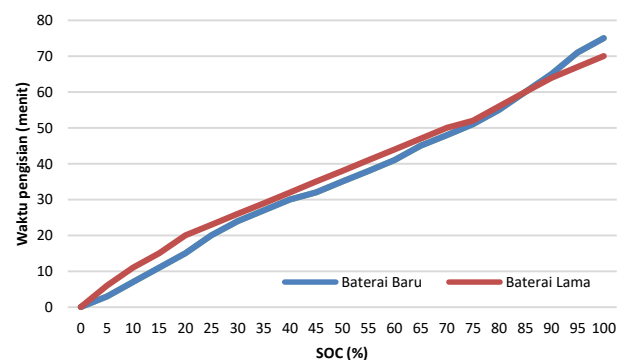
3.3 Pengujian Pengisian Baterai

Dalam penelitian ini pengisian adalah parameter yang penting untuk diamati. Dengan Pengujian pengisian akan diketahui karakteristik perubahan tegangan, arus, dan SOC. Selain itu akan dibandingkan bagaimana perbedaan antara baterai baru dan baterai lama dalam satu waktu.

Sebelum dilakukan uji pengisian, baterai dikosongkan mencapai SOC 0% kemudian pengisian dilakukan dengan menggunakan *power supply*. Inisial SOC pertama otomatis dengan metode *Open Circuit Voltage* kemudian perubahan nilai SOC saat pengisian dilakukan dengan metode *Coulomb Counting*.

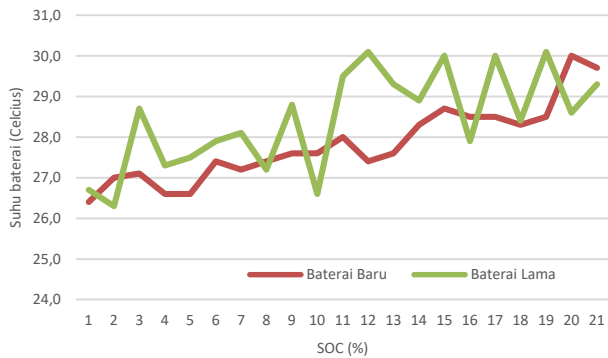
3.3.1 Pengisian Baterai dengan Beban 11

Hasil pengujian pengisian baterai dengan beban 11 (1 buah lampu 12V 25W) tertampil pada gambar 14 dan 15. Gambar 14 menunjukkan grafik hubungan nilai SOC terhadap waktu pengisian, sedangkan gambar 15 menunjukkan grafik hubungan nilai SOC terhadap suhu baterai.



Gambar 14. Grafik SOC terhadap waktu pengisian baterai dengan beban 11

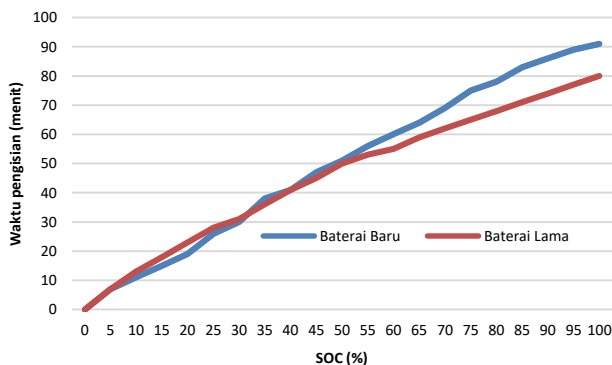
Dari gambar 14, dapat diketahui bahwa dengan nilai SOC yang sama, baterai lama memiliki waktu pengisian yang lebih lama dibandingkan dengan baterai baru. Hal ini karena arus dan tegangan pada baterai lama lebih rendah dibandingkan dengan baterai baru. Sedangkan pada gambar 15, dengan nilai SOC yang sama, baterai lama relatif memiliki suhu yang lebih tinggi daripada baterai baru.



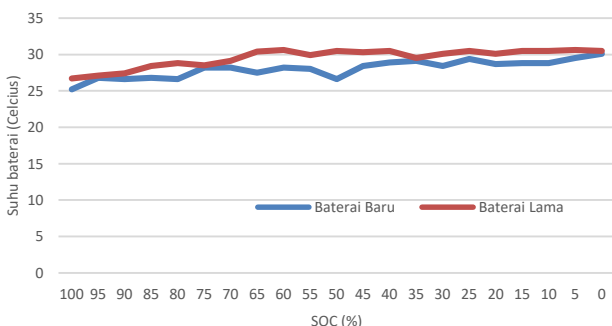
Gambar 15. Grafik SOC terhadap suhu baterai saat pengisian dengan beban 11

3.3.2 Pengisian Baterai dengan Beban 12

Hasil pengujian pengisian baterai dengan beban 12 (2 buah lampu 12V 25W tersusun paralel) tertampil pada gambar 16 dan 17. Gambar 16 menunjukkan grafik hubungan nilai SOC terhadap waktu pengisian, sedangkan gambar 17 menunjukkan grafik hubungan nilai SOC terhadap suhu baterai.



Gambar 16. Grafik SOC terhadap waktu pengisian baterai dengan beban 12

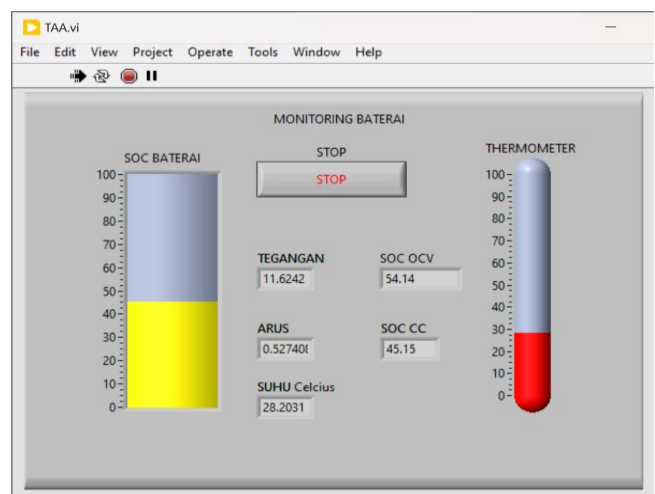


Gambar 17. Grafik SOC terhadap suhu baterai saat pengisian dengan beban 12

Dari gambar 16, dapat diketahui bahwa dengan nilai SOC yang sama, baterai lama memiliki waktu pengisian yang lebih lama dibandingkan dengan baterai baru. Hal ini karena arus dan tegangan pada baterai lama lebih rendah dibandingkan dengan baterai baru. Sedangkan pada gambar 17, dengan nilai SOC yang

sama, baterai lama relatif memiliki suhu yang lebih tinggi daripada baterai baru.

Selanjutnya, hasil pengujian sensor, pengisian dan pengosongan ditampilkan pada LabView. Pada LabView, pengukuran sensor tegangan, arus, suhu ditampilkan secara numerik. Nilai suhu yang terukur juga ditampilkan secara visual disertai dengan *range* 0 sampai 100°C. Nilai SOC dengan OCV dan CC yang telah dihitung pada diagram blok LabView ditampilkan secara numerik. Nilai SOC baterai ditampilkan secara visual disertai dengan *range* 0 sampai 100%. Pada tampilan LabView juga terdapat tombol *stop* untuk menghentikan proses monitoring dari prototipe BMS.



Gambar 18. Tampilan LabView

4 KESIMPULAN

Makalah ini mempresentasikan prototipe BMS dalam fasilitas operasi perkeretaapian yang dirancang dengan mempertimbangkan nilai SOC dan SOH. Prototipe BMS diuji berdasarkan komponen sensor, kondisi pengosongan dan kondisi pengisian. Setelah diuji, komponen sensor BMS memiliki akurasi dengan rentang 99,383–99,770%. Saat kondisi pengosongan, baterai lama memiliki waktu pengosongan yang lebih cepat dan nilai SOH yang lebih rendah daripada baterai baru. Waktu pengosongan lebih cepat terjadi saat baterai dirangkai dengan dua beban tersusun paralel. Sedangkan, saat kondisi pengisian, baterai baru memiliki waktu pengisian yang lebih cepat daripada baterai lama. Waktu pengisian lebih cepat terjadi saat baterai dirangkai dengan satu beban. Baterai lama memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan baterai masih baru. Hal ini menandakan bahwa baterai yang telah lama digunakan berpengaruh terhadap kinerja baterai. Sehingga, prototipe BMS yang telah dirancang dapat menjadi solusi untuk mengantisipasi kerusakan baterai akibat *over-charging* dan *dis-charging*. Penelitian selanjutnya dapat

dikembangkan dengan menggunakan jenis sensor, baterai dan metode yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Komite Beasiswa Kelistrikan yang telah memberikan dukungan dana untuk penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. Farisha Istiqlal And E. Priatna, "Analisa Kapasitas Baterai Sebagai Sumber DC Pada Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 500 Kv Pt.Pln (Persero) Tasikmalaya."
- [2] R. H. Saputra, A. Mahmud, J. Marindra, M. A. Nursyeha, D. Kurnia, And A. Fariyani, "Performance Degradation Evaluation Of A Lithium-Ion Battery From Multiple Soc Measurements", doi: 10.15294/Jte.V14i2.40226.
- [3] S. Triwijaya, A. Pradipta, And Y. Prasetyo, "Battery Management Optimization Considers State Of Charge Using Coulomb Counting Method Pengoptimalan Manajemen Baterai Mempertimbangkan Status Pengisian Baterai Menggunakan Metode Coulomb Counting," *Journal Geuthee Of Engineering And Energy (JOGE)*, Vol. 2, No. 1, Pp. 1–07, 2023, Doi: 10.52626/Joge.V%Vi%I.14.
- [4] V. Karkuzhali, P. Rangarajan, V. Tamilselvi, And P. Kavitha, "Analysis Of Battery Management System Issues In Electric Vehicles," In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, Iop Publishing Ltd, Dec. 2020. doi: 10.1088/1757-899x/994/1/012013.
- [5] X. Liu, J. Li, Z. Yao, Z. Wang, R. Si, And Y. Diao, "Research On Battery SoH Estimation Algorithm Of Energy Storage Frequency Modulation System," *Energy Reports*, Vol. 8, Pp. 217–223, May 2022, doi: 10.1016/J.Egyr.2021.11.015.
- [6] Z. Rahmawan, "Estimasi State Of Charge (SOC) Pada Baterai Lead-Acid Dengan Menggunakan Metode Coulomb Counting Pada Pv Hybrid."
- [7] M. Otong And D. Aribowo, "Perancangan Modular Baterai Lithium Ion(Li-Ion) Untuk Beban Lampu Led," *Jurnal Ilmiah Setrum Article In Press*, Vol. 8, No. 2, Pp. 260–273, 2019.
- [8] J. Vetter *Et Al.*, "Ageing Mechanisms In Lithium-Ion Batteries," *J Power Sources*, Vol. 147, No. 1–2, Pp. 269–281, Sep. 2005, Doi: 10.1016/J.jpowsour.2005.01.006.
- [9] Y. Zhou *Et Al.*, "Scalable Synthesis Of Si/Sio₂@C Composite From Micro-Silica Particles For High Performance Lithium Battery Anodes," *Powder Technol*, Vol. 284, Pp. 365–370, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.Powtec.2015.07.007.
- [10] Y. Zhou *Et Al.*, "Carbon-Coated Moo₂ Dispersed In Three-Dimensional Graphene Aerogel For Lithium-Ion Battery," *Electrochim Acta*, Vol. 174, No. 1, Pp. 8–14, 2015, doi: 10.1016/J.Electacta.2015.05.153.
- [11] S. L. Wang *Et Al.*, "An Improved Coulomb Counting Method Based On Dual Open-Circuit Voltage And Real-Time Evaluation Of Battery Dischargeable Capacity Considering Temperature And Battery Aging," *Int J Energy Res*, Vol. 45, No. 12, Pp. 17609–17621, Oct. 2021, Doi: 10.1002/Er.7042.
- [12] * Bonifasius, A. Bayuprakoso, And P. Munadi, "Analisis Estimasi State Of Charge Baterai Li-Ion Berbasis Open Circuit Voltage Dan Coulomb Counting Pada Otoped," 2021.
- [13] J. Inovtek And S. Elektro, "Aplikasi Battery Management System (BMS) Dengan State Of Charge (Soc) Menggunakan Metode Modified Coulomb Counting," Vol. 1, No. 1.
- [14] S. Mischie, "Behavior Of The Lead Acid Battery After The Rest Period." [Online]. Available: [Http://Www.Etc.Upt.Ro](http://Www.Etc.Upt.Ro)
- [15] G. Zhang *Et Al.*, "Enhancement In Liberation Of Electrode Materials Derived From Spent Lithium-Ion Battery By Pyrolysis," *J Clean Prod*, Vol. 199, Pp. 62–68, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.Jclepro.2018.07.143.