

Aplikasi *Battery Management System* (BMS) dengan *State of Charge* (SOC) Menggunakan Metode *Modified Coulomb Counting*

Puspita Ningrum¹, Novie Ayub Windarko², Suhariningsih³

^{1,2,3}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jalan Raya ITS Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia

Email: puspitan62@gmail.com¹, ayub@pens.ac.id², nuning@pens.ac.id³

Abstrak - Baterai merupakan media penyimpanan energi listrik dalam bentuk energi kimia yang dapat dikonversikan menjadi daya. Dalam kasus yang ditemukan baterai mudah mengalami kerusakan dan memiliki *lifetime* yang pendek. Kerusakan pada baterai disebabkan karena penggunaan yang tidak ideal dan baterai tidak dilengkapi sistem proteksi dan *monitoring*, sehingga baterai tetap beroperasi meskipun dalam kondisi *over-voltage*, *over-current* dan *over-heat* saat *charging* dan ditambah mengalami *under-voltage* pada saat *discharging*. Pada penelitian ini disampaikan perancangan sistem BMS (*Battery Management System*) untuk 2 jenis baterai yaitu Lead Acid 12V 7Ah dan Li-ion 12V 4Ah. BMS memiliki tiga fungsi, yaitu *computation*, *monitoring*, dan *protection*. Sensor tegangan yang menggunakan rangkaian pembagi tegangan, sensor arus ACS 712 dan sensor suhu DHT22 digunakan untuk mengirimkan informasi mengenai kondisi baterai ke mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali. Akurasi pengukuran *State Of Charge* (SOC) mempunyai aspek yang penting dalam perancangan *Battery Management System*. Pengukuran SOC secara tepat dapat menghindarkan baterai dari kondisi *overcharge* dan *undercharge*. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, BMS mampu membaca nilai tegangan, arus, suhu, SOC, Ah, dan Wh. Hasil pembacaan parameter-parameter pada BMS dapat tersimpan pada SD Card. Sistem proteksi pada BMS akan aktif ketika baterai dalam kondisi tidak ideal, yaitu ketika SOC 30% dan 100% serta ketika kondisi arus lebih besar dari 30% kapasitas baterai saat proses *charging*, sehingga baterai tidak mudah rusak dan dapat menekan penurunan *lifetime*.

Kata Kunci: *Battery Management System*, *State Of Charge*, *computation*, *monitoring*, *protection*.

Abstract - The battery is a storage medium for electrical energy in the form of chemical energy that can be converted into power. In the case of being found the battery is easily damaged and has a short lifetime. Damage to the battery is caused by non-ideal use and the battery is not equipped with a protection and monitoring system, so the battery continues to operate even in conditions of *over-voltage*, *over-current*, and *over-heat* when charging and is added to *under-voltage* when discharging. In this research, the BMS (*Battery Management System*) system design for 2 types of batteries is presented, namely, Lead Acid 12V 7Ah and Li-ion 12V 4Ah. BMS has three functions, namely *computation*, *monitoring*, and *protection*. A voltage sensor that uses a voltage divider circuit, ACS 712 current sensor and DHT22 temperature sensor used to send information about the condition of the battery to the Arduino Mega 2560 microcontroller as the control center. The accuracy of the *State of Charge* (SOC) measurements has an important aspect of designing the *Battery Management System*. SOC proper measurement can prevent the battery from *overcharge* and *undercharge* conditions. From the test results that have been done, BMS can read the values of voltage, current, temperature, SOC, Ah, and Wh. The results of reading the parameters on the BMS can be stored on the SD Card. The protection system on the BMS will be active when the battery is not ideal, namely when the SOC is 30% and 100% and when the current condition is greater than 30% of the battery capacity during the charging process, so the battery is not easily damaged and can reduce the decrease in lifetime.

Keywords: *Battery Management System*, *State Of Charge*, *computation*, *monitoring*, *protection*.

I. PENDAHULUAN

Saat ini, kegiatan yang memerlukan baterai semakin banyak dan sangat sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Tidak hanya digunakan dalam skala kecil, pada perusahaan listrik juga membutuhkan baterai. Baterai merupakan media penyimpanan energi listrik dalam bentuk

energi kimia, yang mana dari energi tersebut dapat dikonversikan menjadi daya listrik. Inovasi yang berkaitan dengan baterai mulai dikembangkan terutama teknologi elektronik yang sangat memerlukan sumber energi *portable* yang dapat dibawa dan mudah ditemukan.

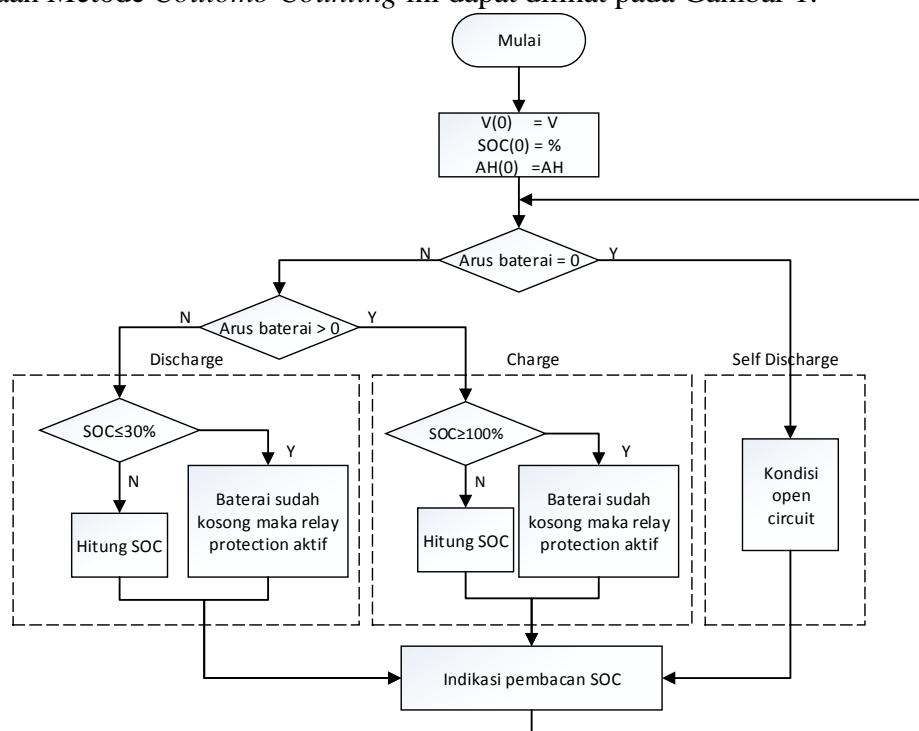
Dalam kasus yang ditemukan, baterai yang digunakan sering kali tidak dilengkapi dengan sistem *monitoring* dan sistem *protection*, sehingga baterai tetap beroperasi meskipun dalam keadaan tidak ideal (tidak sesuai *datasheet*) sehingga baterai mudah mengalami *over-current*, *over-voltage*, *under-voltage* dan *over-heat*. Jika baterai digunakan dalam kondisi yang tidak ideal maka baterai dapat dengan mudah mengalami kerusakan dan memiliki nilai *lifetime* yang pendek, sehingga baterai harus digunakan secara efisien untuk menghindari kerusakan akibat terjadinya *over-current*, *over-voltage*, *under-voltage* dan *over-heat*.

Selama baterai beroperasi harus digunakan dalam keadaan ideal, oleh karena itu dibuatlah sebuah sistem manajemen baterai (*Battery Management System / BMS*).). Akurasi pengukuran *State Of Charge (SOC)* mempunyai aspek yang penting dalam perancangan *Battery Management System* [1]. Pengukuran *SOC* secara tepat dapat menghindarkan baterai dari kondisi *over-voltage*, *over-current* dan *over-heat* saat pengisian (*charging*) dan ditambah mengalami *under-voltage* pada saat pengosongan (*discharging*) serta dapat menekan penurunan *lifetime* pada baterai [2]. BMS juga berfungsi sebagai *monitoring*, yaitu untuk memberikan informasi berupa nilai tegangan, arus, temperature, Wh (*Watt hour*), Ah (*Ampere hour*) dan *SOC (state of charge/kapasitas baterai)* pada saat *charge* dan *discharge* kepada pengguna.

II. METODE

A. Metode Coulomb Counting

Metode CC (*Coulomb Counting*) adalah metode yang dapat digunakan untuk menghitung muatan listrik (*coulomb*) yang masuk atau keluar pada baterai. Dengan mengintegrasikan arus listrik yang mengalir ke baterai terhadap waktu maka dapat diperoleh muatan listrik total yang masuk atau keluar dari baterai. Dalam implementasinya nilai arus (*I*) berupa diskret karena tidak dimungkinkan untuk melakukan pencuplikan dengan waktu $\lim_{t \rightarrow 0}$. *Flowchart* dari penggunaan Metode *Coulomb Counting* ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart Coulomb Counting*

Secara umum metode CC dirumuskan sebagai berikut:

$$SOC = \frac{SOC(t_0) \pm \int_{t_0}^{t_0+tn} I_{bat} .dt}{Q_{rate}} \times 100\% \tag{1}$$

Keterangan:

SOC = prosentase baterai (%)

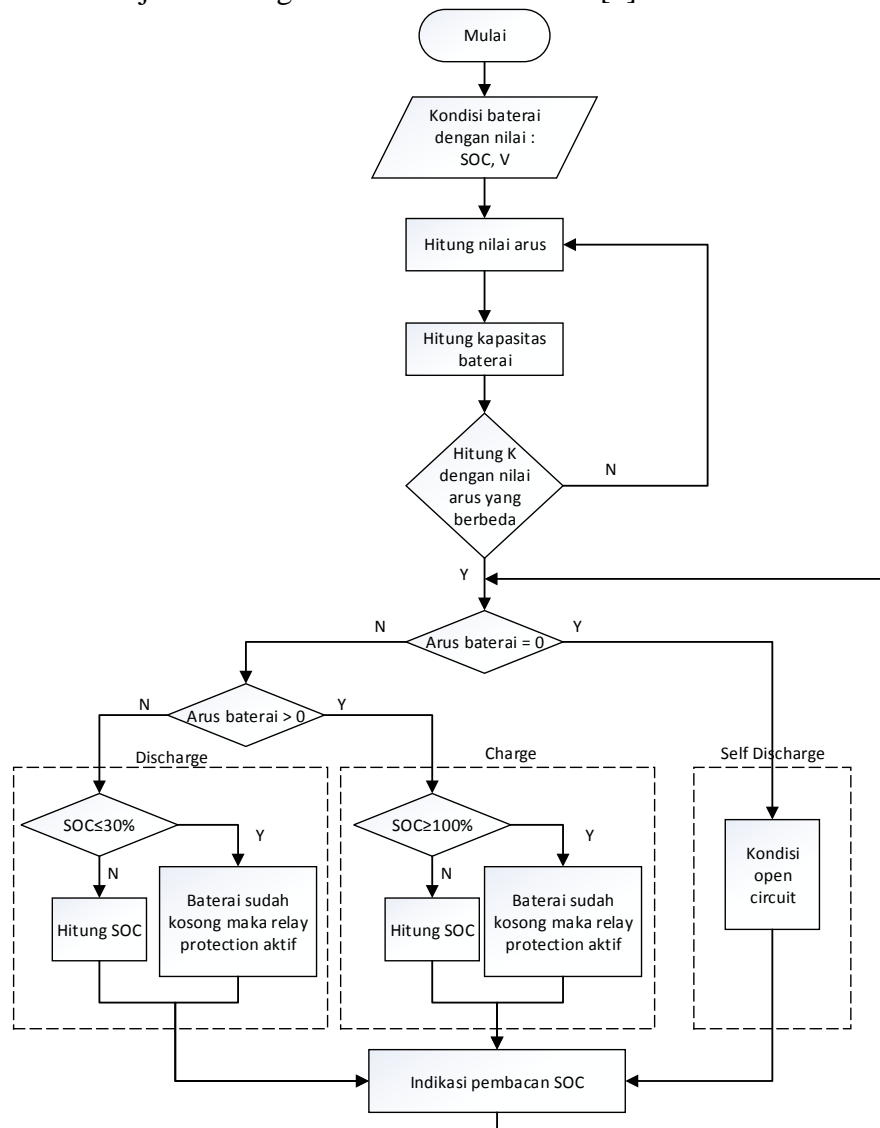
$SOC(t_0)$ = prosentase baterai detik ke 1

I_{bat} = arus yang masuk atau keluar (A)

Q_{rate} = total AH pada baterai (AH)

B. Metode Modified Coulomb Counting

Penentuan nilai SOC pada baterai merupakan masalah tentang banyak atau sedikitnya kompleksitas perhitungan tergantung pada jenis baterai dan aplikasi yang digunakan. Untuk meningkatkan metode penghitungan *Coulomb*, teknik baru yang disebut *Modified Coulomb Counting Method* diusulkan. Dimodifikasi dari metode penghitungan *Coulomb* menggunakan arus yang dikoreksi menjadi meningkatkan akurasi estimasi [3].



Gambar 2. Flowchart Modified Coulomb Counting

Flowchart pada Gambar 2 menjelaskan bahwa terdapat arus yang dikoreksi dimana merupakan fungsi dari pengosongan arus. Ada hubungan antara arus yang dikoreksi dan

pemakaian baterai saat ini. Dengan praktek data eksperimen, arus yang dikoreksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C_{dis} = T_{dis} \cdot i_{dis}^k \tag{2}$$

Pengukuran parameter tersebut dilakukan pada kondisi *discharge*. Dimana C_{dis} mewakili kapasitas pengosongan dalam ampere hours (Ah), dan T_{dis} adalah waktu proses pengosongan dan I_{dis} adalah arus yang dinyatakan dalam satuan ampere (A), serta k merupakan nilai konstanta yang diperoleh dari data eksperimen [4]. Nilai konstanta pada persamaan 2 dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$k = \log_{i_{dis}} \left(\frac{C_{dis}}{T_{dis}} \right) \tag{3}$$

Keterangan:

C_{dis} = kapasitas *discharge* (Ah yang keluar)

T_{dis} = lama proses pengosongan (dalam sekon)

i_{dis} = nilai arus (dalam satuan ampere)

Setelah mendapatkan nilai k yang didapatkan dari persamaan 3 maka nilai tersebut digunakan untuk mengetahui kapasitas yang tersisa pada baterai (Ah yang tersisa pada baterai). Maka untuk mengetahui nilai SOC pada baterai dapat ditentukan dengan:

$$SOC = SOC(t0) \pm \frac{(i.t)^k}{Q_{rate}} \tag{4}$$

(4)

Keterangan:

Q_{rate} = total AH pada baterai (AH)

i = nilai arus dalam satuan ampere

t = nilai waktu dalam satuan sekon

k = nilai konstanta

III. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

A. Pengujian Metode Modified Coulomb Counting

Metode *modified coulomb counting* digunakan untuk mendapatkan nilai SOC pada baterai. Dengan melakukan pengujian terhadap proses *discharging* yang menggunakan nilai arus berbeda-beda. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data perolehan nilai konstanta baterai Li-Ion

BATERAI LI-ION			
Kapasitas Pengosongan (Ah)	Arus (A)	Waktu (s)	Konstanta
0.017	0.32	180	0.961
0.028	0.54	180	0.949
0.04	0.75	120	0.794
0.041	1.17	120	1.318
0.055	1.57	121	1.100
Rata-rata			1.0264

Tabel 2. Data perolehan nilai konstanta baterai Lead Acid

BATERAI LEAD ACID			
Kapasitas Pengosongan (Ah)	Arus (A)	Waktu (s)	Konstanta
0.013	0.37	180	0.961
0.020	0.57	120	0.949
0.040	0.77	121	0.794
0.041	1.19	121	1.318
0.070	1.37	123	1.100
0.108	1.55	120	1.091
Rata-rata			0.9966

Dari Tabel 1 dan Tabel 2 dapat diketahui bahwa dengan proses *discharging* yang menggunakan nilai arus berubah-ubah dapat diperoleh nilai konstanta 1.0264 untuk baterai Li-Ion dan nilai konstanta 0.9966 untuk baterai Lead Acid.

Untuk mengetahui keberhasilan metode maka dilakukan pengujian perhitungan Ah dan Wh yang dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan Ah dan Wh pada BMS dengan alat ukur Watt meter. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Pengujian pertama baterai Li-Ion kondisi *discharge* selama 10 menit. Pengujian kedua baterai Lead Acid kondisi *discharge* selama 10 menit.

Tabel 3. Hasil Pengujian pertama Perhitungan AH dan WH

Nilai	BMS	Watt meter	Error (%)
AH	247	259	4.86
WH	3.1	3.3	6.45

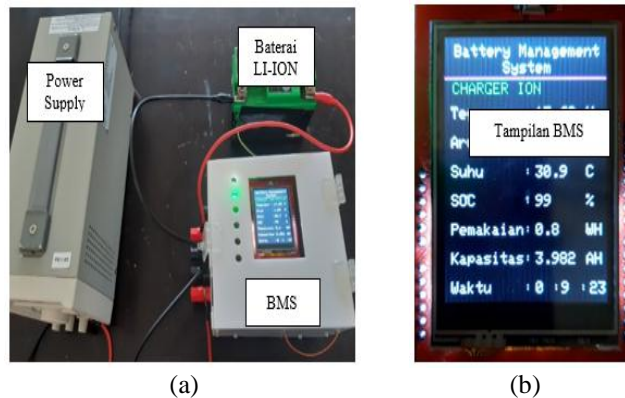
Tabel 4. Hasil Pengujian Kedua Perhitungan AH dan WH

Nilai	BMS	Watt meter	Error (%)
AH	273	283	3.66
WH	3.1	3.3	6.45

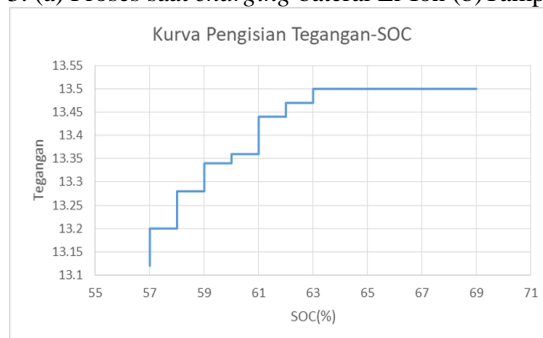
Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil perhitungan Ah dan Wh pada BMS masih terdapat *error* dengan nilai *error* tertinggi sebesar 6.45%.

B. Pengujian Pengisian Baterai Li-Ion

Pengujian pengisian (*charging*) pada baterai Li-Ion menggunakan *power supply* sebagai sumber pengisian yang dapat dilihat pada Gambar 3.

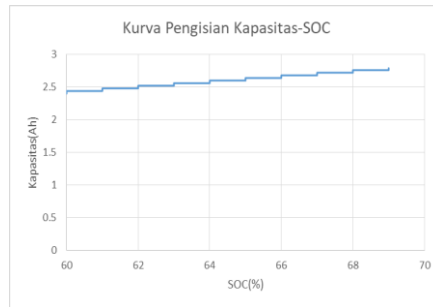


Gambar 3. (a) Proses saat *charging* baterai Li-Ion (b)Tampilan BMS



Gambar 4. Proses pengisian tegangan-SOC

Pada gambar 4 dapat diketahui, pada kurva pengisian menandakan bahwa tegangan memuncak menuju tegangan maksimum pengisian pada saat tegangan awal sebesar 13.12 volt.

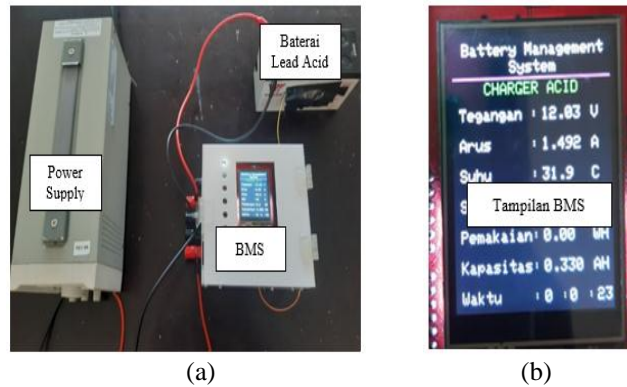


Gambar 5. Proses pengisian Kapasitas-SOC

Pada Gambar 5 menunjukkan semakin bertambahnya kapasitas baterai maka nilai SOC juga bertambah, saat kapasitas awal pada baterai 2.4 Ah nilai SOC sebesar 60%.

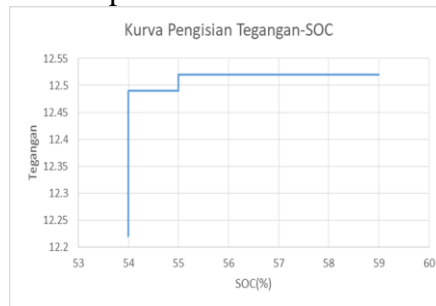
C. Pengujian Pengisian Baterai Lead Acid

Pengujian pengisian (*charging*) pada baterai Lead Acid menggunakan *power supply* sebagai sumber pengisian yang dapat dilihat pada Gambar 6.



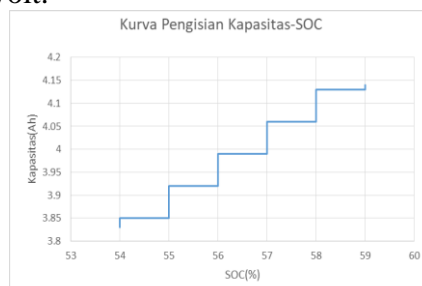
Gambar 6. (a) Proses saat *charging* baterai Lead Acid (b)Tampilan BMS

Pada Gambar 3 dan Gambar 6 dapat diketahui, BMS membaca parameter berupa tegangan, arus, suhu, SOC, pemakaian (WH), kapasitas (AH) dan lama waktu pemakaian yang ditampilkan menggunakan LCD TFT pada saat baterai Lead Acid mengalami proses *charging*.



Gambar 7. Proses pengisian tegangan-SOC

Pada Gambar 7 dapat diketahui, bahwa titik atas pada kurva pengisian tersebut menandakan tegangan akan memuncak menuju tegangan maksimum pengisian pada saat tegangan awal sebesar 12.22 volt.

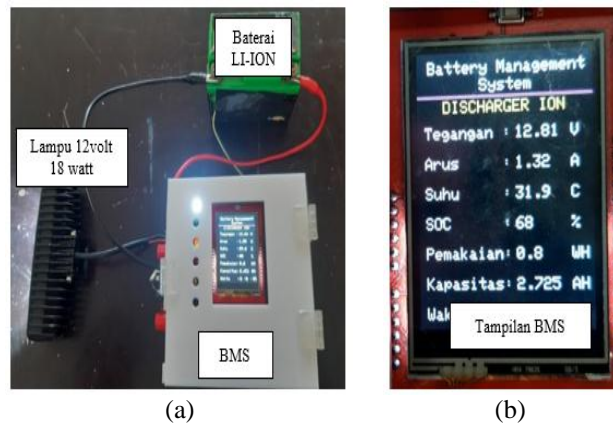


Gambar 8. Proses pengisian Kapasitas-SOC

Pada Gambar 8 menunjukkan semakin bertambahnya kapasitas baterai maka nilai SOC bertambah, saat kapasitas awal 3.84 Ah nilai SOC sebesar 54%.

D. Pengujian Pengosongan Baterai Li-Ion

Pengujian pegosongan (*discharging*) pada baterai Li-Ion menggunakan lampu 12 volt 18 watt sebagai beban yang dapat dilihat pada Gambar 9.

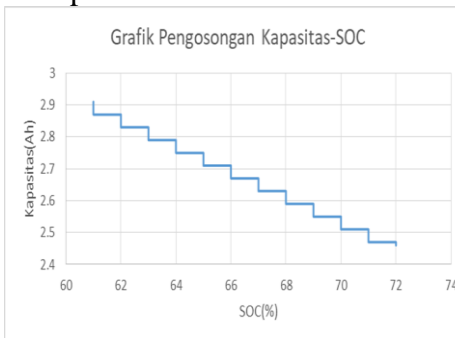


Gambar 9. (a) Proses saat *discharging* baterai Li-Ion (b)Tampilan BMS



Gambar 10. Proses Pengosongan Tegangan-SOC

Pada Gambar 10 merupakan kurva pengosongan dengan menggunakan beban berupa lampu 12 volt 18 watt. Dimana dapat diketahui bahwa nilai SOC dan tegangan semakin turun.

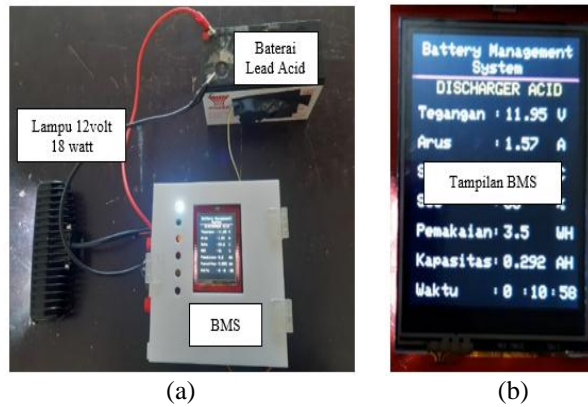


Gambar 11. Proses Pengosongan Kapasitas-SOC

Gambar 11 merupakan kurva pengosongan yang menunjukkan ketika kapasitas 2.55Ah, nilai SOC pada baterai sebesar 79%.

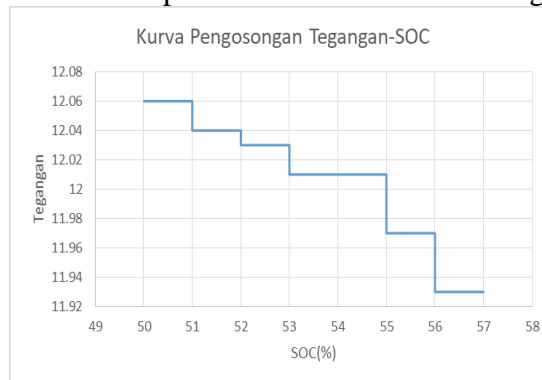
E. Pengujian Pengosongan Baterai Lead Acid

Pengujian pegosongan (*discharging*) pada baterai Lead Acid menggunakan lampu 12 volt 18 watt sebagai beban yang dapat dilihat pada Gambar 12.



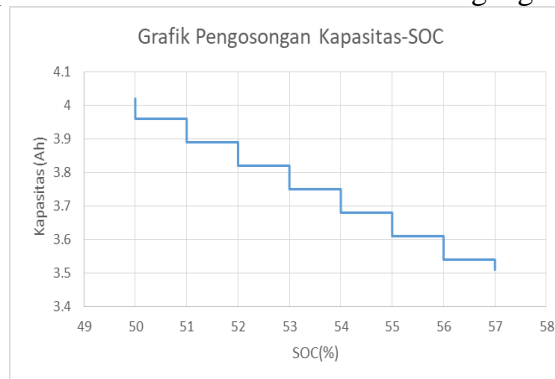
Gambar 12. (a) Proses saat *discharging* baterai Li-Ion (b)Tampilan BMS

Pada Gambar 9 dan Gambar 12 dapat diketahui, BMS membaca parameter berupa tegangan, arus, suhu, SOC, pemakaian (WH), kapasitas (AH) dan lama waktu pemakaian yang ditampilkan menggunakan LCD TFT pada saat baterai Li-Ion mengalami proses *discharging*.



Gambar 13. Proses Pengosongan Tegangan-SOC

Gambar 13 merupakan kurva pengosongan dengan menggunakan beban berupa lampu 12 volt 18 watt. Dimana dapat diketahui bahwa nilai SOC dan tegangan semakin turun.

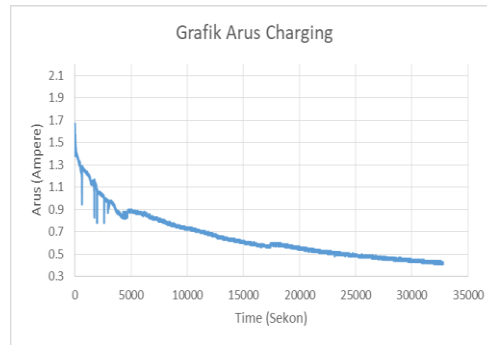


Gambar 14. Proses Pengosongan Kapasitas-SOC

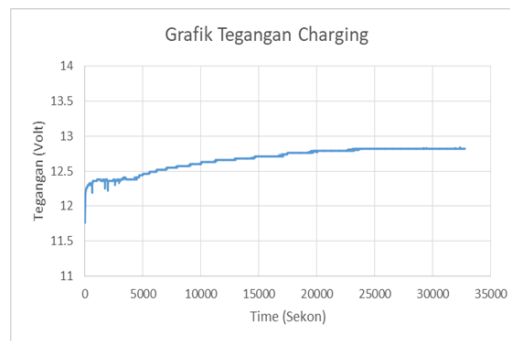
Pada Gambar 14 merupakan kurva pengosongan yang menunjukkan ketika kapasitas 2.6Ah, nilai SOC pada baterai sebesar 55%.

F. Analisa Metode Modified Coulomb Counting

Dari pengujian *charging* menggunakan metode *modified coulomb counting* dapat diketahui bahwa hasil pengujian yang dilakukan pada saat proses *charging* ketika SOC 0% hingga 100% dengan lama waktu 11 jam 45 menit dan didapatkan grafik pengisian yang dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.



Gambar 15. Grafik Arus Charging



Gambar 16. Grafik Tegangan Charging

Dari grafik hasil pengujian pada Gambar 15 dan Gambar 16 tersebut dapat diketahui bahwa semakin lama proses *charging* maka nilai arus akan semakin turun dan nilai tegangan akan konstan ketika baterai mendekati kondisi penuh (*full*). Hal ini menunjukkan metode *modified coulomb counting* digunakan untuk menentukan nilai kapasitas sehingga dapat mengetahui nilai SOC. Grafik pengisian yang sesuai atau mendekati *datasheet* pada baterai diperlukan agar baterai tetap berada dalam kondisi ideal.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan tahap perancangan dan implementasi sistem kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian dan pengambilan data maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- *Relay protection* aktif apabila SOC pada baterai bernilai 100% pada saat proses *charging* dan 30% saat proses *discharging*.
- Ketika proses *charging* baterai apabila mendekati *full* atau SOC 100% maka nilai arus akan turun dan semakin mendekati 0 ampere.
- Setiap baterai memiliki karakteristik yang berbeda tergantung pada jenis pada masing-masing baterai dan kondisi pada baterai itu sendiri.
- Pada baterai Lead Acid dilakukan pengujian proses *charging* dari SOC 0% hingga 100% membutuhkan lama waktu 11 jam 45 menit.
- Nilai arus pengosongan akan semakin kecil seiring semakin lamanya proses *discharging*, karena kapasitas baterai semakin berkurang sehingga menyebabkan nilai tegangan pada baterai menurun.
- Nilai arus pengisian akan semakin kecil seiring semakin lamanya proses *charging*, karena kapasitas baterai semakin bertambah sehingga menyebabkan nilai tegangan pada baterai meningkat dan mendekati nilai tegangan *charger*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ms.S.Sindhuja, Sathyabama University dan Dr.K.Vasanth, Sathyabama University. "Modified coulomb counting method of SOC estimation for uninterruptible power supply system's battery management system". Jurnal IEEE 2015.
- [2] Ines Baccouce, Asma Mlayah, dan Sabeus Jemmali dari Sousse University. "Implementation of a Coulomb Counting Algorithm for SOC estimation of Li-Ion Battery for Multimedia Applications". 2015 12th International Multi-Conference on Systems, Signals and Device.
- [3] Jurnal IEEE" *Battery Capacity Computation Using Peukert's Equation in a Virtual Environment*" disusun oleh Umesh M, Krishnashree Achuthan and Saneesh P, Balakrishnan Shankar. Amrita Vishwa Vidyapeetham Amritapuri, India.
- [4] Edi Leksono, Irsyad Nashirul Haq, Muhammad Iqbal, FX Nugroho Soelami, IGN Merthayasa. Department of Engineering Physics, Institut Teknologi Bandung Jalan Ganesha 10, Bandung. "State of Charge (SoC) Estimation on LiFePO4 Battery Module Using Coulomb Counting Methods with Modified Peukert". Paper 2013.
- [5] Jurnal Energies 2011, 4, 1840-1857; doi:10.3390/en4111840 "Battery Management System in Electric and Hybrid Vehicles" yang disusun oleh Yinjiao Xing dan Kwok L.Tsui dari University of Hong Kong dan Eden W. Ma dan Michael Pecht dari Universitas of Maryland
- [6] H.J.Bergveld. "Battery Management System Design by Modelling". Twente. Thesis 2001.
- [7] John Sun dari Stanford University. "Car Battery Efficiencies". 2010. Submitted as coursework for physics 240.
- [8] Martin Coleman, Chi kwan Lee, Chunbo Zhu, and Wiliam Gerand Hurley. "State of Charge Determination From EMF voltage estimation". Jurnal IEEE Trans Industrial Electronics 2007.
- [9] School of Electronic and Information Engineering, Hefei Normal University, Hefei, 230061, Precision Machinery & Precision Instrumentation, University of Science and Technology of China, Hefei, 230027, New Energy Automotive Engineering Research Institute, Hefei University of Technology, Hefei, 230009, China. "Research on SOC estimation using current integration based on temperature compensation". Paper 2017.
- [10] Andica Dian Isnaini, Suwandi, Reza Fauzi Iskandar. Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom. "Estimation State of Charge of Lithium Ion Battery Using Coulomb Counting Method". Jurnal 2017