ISSN : 2598–3814 (Online), ISSN : 1410–4520 (Cetak)

IMPLEMENTASI METODE *COULOMB COUNTING* PADA ALAT PERKIRAAN STATUS KAPASITAS (*STATE OF CHARGE*) BATERAI LEAD ACID

Arman Sani[1)], Raja Harahap[2)], Muhammad Zulfin[3)], Muhammad Razali[4)], Sony Gunawan[5)]

[1,2,3,5)]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
[4)]Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia, Medan, Indonesia
arman3@usu.ac.id; *raja@usu.ac.id*; m.zulfin@usu.ac.id;
razalialy@gmail.com; *sonyg7411@gmail.com*

Abstrak

Pada tulisan ini diimplementasikan metode Coulomb Counting (CC) pada alat perkiraan SoC baterai asam timbal untuk memperoleh perkiraan yang akurat. Implementasi menggunakan sensor arus dan sensor pembagi tegangan (voltage divider) yang terkoneksi dengan modul Arduino Nano yang menjalankan algoritma CC. Pengujian alat dilakukan pada baterai asam timbal merek Incoe Hybrid NS70 dan GForce MF NS70 yang terpasang pada mobil mulai saat mesin dihidupkan (keadaan pengosongan atau discharging) dan setelah mesin hidup (keadaan pengisisan atau charging). Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi metode CC pada alat perkiraan SoC baterai asam timbal bekerja dengan baik dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 6,1% yang ikut tersumbangkan dari kesalahan yang disebabkan oleh sensor Tegangan dan Arus yang masing-masing sebesar 0.57% dan 4.3%. Dari hasil ini diharapkan metode CC dapat menjadi pilihan sebagai algoritma pada alat prediksi SoC baterai asam timbal dan untuk pengembangan Battery Management System (BMS) yang lebih cerdas dan aman pada kendaraan listrik maupun sistem penyimpanan energi.

Kata-Kata Kunci : *Baterai Lead Acid, State of Charge, Coulomb Counting, Charging, Discharging*

I. Pendahuluan

Baterai adalah perangkat yang menyimpan energi dan kemudian melepaskannya dengan cara mengubah energi kimia menjadi listrik [1]. Salah satu jenis baterai yang paling banyak digunakan, terutama pada kendaraan sebagai sumber utama energi listrik adalah baterai asam timbal (*lead acid*). Baterai ini tersedia dengan banyak pilihan kapasitas, fisik yang kokoh, harga ekonomis dan mampu menyuplai arus lonjakan tinggi (surge current) dengan cepat, muatannya stabil, serta dapat diisi ulang. Oleh karena itu baterai jenis ini masih tetap menjadi standar utama untuk baterai starter kendaraan konvensional (SLI - Starting, Lighting, Ignition), sistem UPS (Uninterruptible Power Supply), serta penyimpanan energi stasioner (*power grid*) [2]. Baterai jenis ini tidak ideal untuk aplikasi yang membutuhkan mobilitas tinggi karena memiliki energi spesifik (specifik energy) yang tergolong rendah dan bobot yang berat per watt-jam, serta membutuhkan waktu yang relatif lama untuk proses isi ulang [3].

Terdapat sejumlah permasalahan pada baterai asam timbal yang terpasang pada kendaraan. Salah satunya adalah kesulitan dalam memperkirakan status kapasitas energi (SoC - state of charge) yang tersimpan pada baterai.

Pada baterai terdapat parameter yang dapat diukur, yaitu nilai tegangan dan arus dan dapat dijadikan indikator untuk mengestimasi SoC dari baterai tersebut. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam upaya memperkirakan status SoC baterai menggunakan berbagai metode yang memungkinkan. Pada penelitian [1] telah dilakukan estimasi kondisi muatan dan kondisi kesehatan baterai VRLA (*valve regulated lead-acid, m*asyarakat Indonesia lebih sering menyebutnya sebagai aki kering) yang digunakan sebagai sumber energi cadangan pada sistem nanogrid. Penelitian ini membuktikan bahwa metode C*oulomb Counting* (CC) dan metode Regresi Vektor Pendukung (RVP) dapat diimplementasikan untuk memperkirakan kondisi muatan dan kesehatan baterai VRLA dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Kemudian pada penelitian [2] dilakukan estimasi SoC untuk baterai Lithium-Ion menggunakan metode CC dan OCV, serta dilakukan prosedur kalibrasi standar dan parsial untuk mendapatkan kapasitas maksimum yang dapat dikeluarkan baterai tersebut.

Oleh karena itu pada tulisan ini dilakukan diimplementasikan metode Coulomb Counting (CC) pada alat perkiraan SoC baterai asam timbal yang terpasang pada kendaraan untuk memperoleh perkiraan yang akurat. Alat bekerja berdasarkan parameter tegangan dan arus baterai yang dibaca oleh sensor tegangan dan sensor arus selama kondisi pengisian dan pengosongan (*charge/discharge)*, sehingga kapasitas energi yang dimiliki baterai dapat diketahui setiap saat.

II. Tinjauan Pustaka

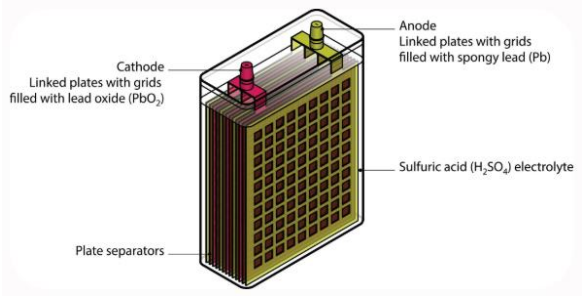
2.1 Baterai Asam Timbal (Lead Acid)

Baterai asam timbal terdiri dari satu atau lebih sel, dapat terhubung secara seri, paralel, ataupun keduanya, tergantung pada tegangan dan kapasitas

keluaran yang diinginkan [3]. Baterai ini terdiri dari tiga komponen utama:

- Anoda (Kutub Negatif): Timbal murni berbentuk spons (Pb).
- Katoda (Kutub Positif): Timbal dioksida (PbO_2).
- Elektrolit: Larutan asam sulfat (H_2SO_4) terlarut dalam air (H_2O).

Gambar 1. menunjukkan struktur sel baterai asam timbal [4].



Gambar 1. Struktur Sel Baterai Asam Timbal

Baterai Asam Timbal bekerja berdasarkan reaksi elektrokimia redoks (reduksi-oksidasi) yang bersifat bolak-balik (*reversible*). Pada saat baterai digunakan untuk menyuplai arus listrik (reaksi pengosongan, discharging), maka akan berlangsung reaksi kimia secara spontan dari kiri ke kanan, seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan 1 [4], [6].

$$Pb(s) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow PbSO_4(s) + 2\,e^- \quad ..(1)$$

Pada anoda terjadi pelepasan elektron oleh logam timbal dan bereaksi dengan ion sulfat membentuk timbal sulfat ($PbSO_4$), yang dikenal sebagai reaksi oksidasi. Sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi dimana timbal dioksida menerima elektron dan bereaksi dengan ion hidrogen dan ion sulfat membentuk timbal sulfat serta air, seperti diperlihatkan pada Persamaan 2.

$$PbO_2(s) + SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \quad \text{……. (2)}$$

Selama proses pengosongan, konsentrasi H_2SO_4 menurun karena asam sulfat terpakai dan menghasilkan air (H_2O). Hal ini menyebabkan berat jenis larutan elektrolit berkurang.

Pada saat baterai diisi ulang (proses pengisian, charging) dimana baterai dihubungkan ke pengisi (*charger*), arus listrik dialirkan dari luar untuk membalik arah reaksi elektrokimia. Pada keadaan ini di Anoda akan terjadi reaksi reduksi, diamana timbal sulfat ($PbSO_4$) akan direduksi kembali menjadi timbal murni (Pb). Sedangkan di Katoda timbal sulfat ($PbSO_4$) dioksidasi kembali menjadi timbal dioksida (PbO_2). Proses ini mengembalikan konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) ke kondisi semula.

Reaksi keseluruhan yang terjadi pada baterai asam timbal dirangkum dalam satu persamaan reaksi kesetimbangan yang ditunjukkan oleh Persamaan 3 [4] dan Tabel 1 [6].

$$Pb(s) + PbO_2(s) + 2H_2SO_4(aq) \underset{\text{Charging}}{\overset{\text{Discharging}}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$$

…….. (3)

Tabel 1. Hasil Reaksi Redoks Pada Baterai Asam Timbal

Kondisi	Anoda	Katoda	Elektrolit
Penuh (charged)	Pb	PbO_2	Asam sulfat pekat
Kosong (discharged)	$PbSO_2$	$PbSO_4$	Asam sulfat encer (dominan air)

2.2 *State of Capasity (SoC)*

State of charge (SoC) adalah rasio kapasitas energi yang tersedia (*remaining energy capacity*) dengan kapasitas energi maksimum (*maximum energy capacity*). Nilai SoC dinyatakan dalam rentang nilai 0-1, di mana nilai 0 menyatakan baterai dalam keadaan kosong (tanpa ada kapasitas energi tersimpan), sedangkan nilai 1 menyatakan keadaan baterai ketika kapasitas energi tersimpan secara penuh. SoC dapat juga dinyatakan dengan besaran persentase, yaitu 0%~100% [5]. SoC merupakan salah satu parameter terpenting pada baterai, walaupun definisinya menyajikan banyak hal yang berbeda. Nilai SoC sebuah baterai dapat dihitung dengan Persamaan 4 [6].

$$\text{SoC (t)} = \frac{Q\,(t)}{Q_n} \quad \text{…..(4)}$$

Dengan:

$Q(t)$: Rasio kapasitas saat ini

Qn : Kapasitas nominal (kapasitas maksimun)

SoC memiliki sifat yang sangat dinamis, berubah terus-menerus setiap kali baterai diisi (*charge*) atau digunakan/dikosongkan (*discharge*). Tabel 2 menyajikan perkiraan nilai SoC baterai Timbal Asam yang memiliki tegangan nominal 12 Volt setelah diistrirahatkan selama lebih dari 2 jam [7].

Tabel 2. SoC Baterai Asam Timbal

State of Charge	12 Volt Battery
100%	12.70V
90%	12.5V
80%	12.42V
70%	12.32V
60%	12.2V
50%	12.06V
40%	11.9V
30%	11.75
20%	11.58
10%	11.31
0	10.5

2.3 Metode *Coulomb Counting (CC)*

Metode *Coulomb Counting* (CC) dikenal sebagai metode Ampere-Hour Integration, dimana baterai diukur berdasarkan jumlah arus listrik (I) yang masuk (saat diisi) atau keluar (saat digunakan) seiring berjalannya waktu (t). Metode ini mengukur arus secara terus-menerus menggunakan sensor arus (*shunt resistor* atau *Hall-effect sensor*) dan mengintegrasikannya terhadap waktu untuk mengestimasi nilai SoC. Adapun rumus dari metode CC ditunjukkan pada Persamaan 5 [10].

$$\mathrm{SoC}(t) = \mathrm{SoC}(t_0) + \frac{1}{Q_n}\int_{t_0}^{t} I\,(t)\,dt \times 100\% \quad \text{……. (5)}$$

Dengan:

$\mathrm{SoC}(t_o)$: Kapasitas awal baterai.

Q_n : Kapasitas nominal baterai (dalam Ampere-hour, Ah)

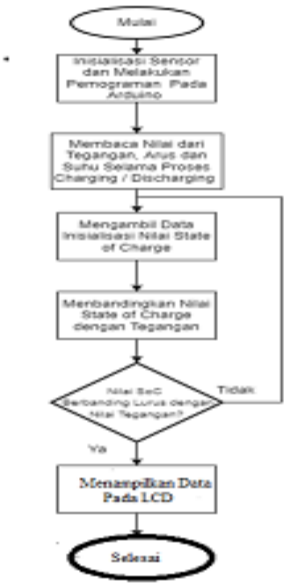
I : Arus listrik (positif saat *charging*, negatif saat *discharging*).

Metode CC menghitung kapasitas baterai yang tersisa dengan mengumpulkan muatan yang ditransfer masuk atau keluar dari baterai. Keakuratannya sangat mengandalkan pengukuran yang tepat dari arus baterai dan keakuratan estimasi SoC awal. Dengan diketahuinya kapasitas awal atau kapasitas sebelum kondisi operasi dari baterai, maka SoC dapat dihitung oleh metode CC dengan mengintegrasikan arus pengisian dan pemakaian selama periode operasi tertentu.

III. Metode Penelitian dan Alat

3.1 Alur Penelitian

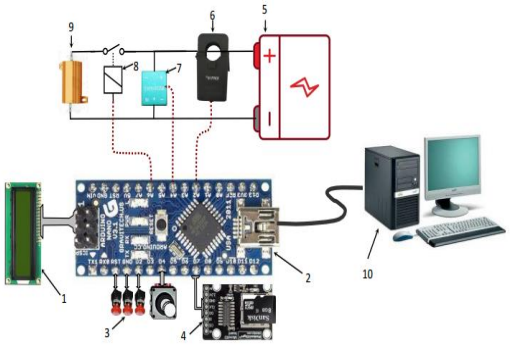
Alur penelitian yang telah dilakukan dalam pengimplementasian metode CC dan OCV untuk memprediksi SoC baterai Asam timbal diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Metode Penelitian

3.2 Kebutuhan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Adapun struktur alat perkiraan SoC menggunakan metode CC yang telah dibuat diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Alat Perkiraan SoC Dengan Metode CC

Pada pembuatan alat ini diperlukan perangkat keras:

1. Penampil LCD 4x20 karakter
2. Modul Arduino Nano dengan mikro kontroller Atmega 326
3. Tombol dan Encoder Rotary
4. Modul kartu Micro SD
5. Baterai
6. Sensor Arus
7. Sensor Tegangan
8. Rele
9. Beban berupa lampu pijar
10. PC atau Laptop untuk menjalankan perangkat lunak aplikasi.

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah:

1. Proteus 8: untuk perancangan rangkaian alat dan pengujian rangkaian secara teoritis.
2. Arduino IDE : pemrograman pada arduino uno dengan menggunakan *software* arduino IDE.

Pemrograman ini dilakukan dengan menghu-bungkan arduino nano dengan komputer/laptop melalui USB terlebih dahulu, baru dilakukan pemrogram pada sensor arus , sensor tegangan, sensor suhu, modul micro sd card dan LCD. Setelah selesai maka program diupload ke arduino dan melakukan pengujian untuk melihat hasil keluaran tersebut.

3.3 Sensor Arus

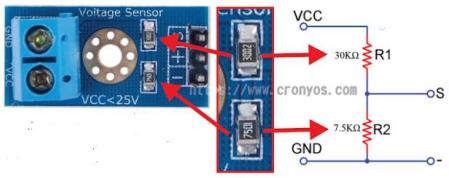
Pada alat yang dirancang bangun digunakan sensor arus HSTS016L seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Tegangan output dari sensor ini adalah 2.5V +/- 0.625V dengan akurasi yang cukup baik [12].



Gambar 4. Sensor Arus HSTS016L

3.4 Sensor Tegangan

Pada alat yang dibuat digunakan sensor tegangan yang sekaligus berfungsi sebagai rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) seperti diperlihatkan pada Gambar 5 [13].



Gambar 5. Rangkaian Pembagi Tegangan

Tegangan output pada sensor ini dapat dihitung dengan Persamaan 6 [13].

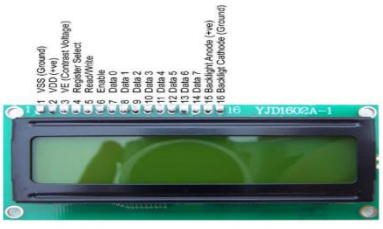
$$V_{out} = V_{in}\, x\, (\frac{R_2}{R_1+R_2}) \quad \text{....(6)}$$

Dimana:

V_{out} : Tegangan output
V_{in} : Tegangan input
R_1 : Resistor 1
R_2 : Resistor 2

3.5 Liquid Crystal Display (LCD)

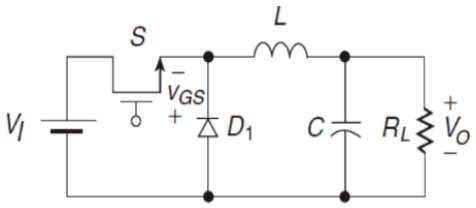
LCD adalah suatu display dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem dot matriks. LCD banyak digunakan sebagai display dari alat-alat elektronika seperti kalkulator, multimeter digital, jam digital dan sebagainya, terdapat dua jenis LCD yaitu LCD teks dan LCD grafik. LCD teks digunakan untuk menampilkan teks atau simbol-simbol tertentu dan LCD grafik memungkinkan untuk menampilkan gambar. Gambar 6 memperlihatkan bentuk fisik dari LCD [11].



Gambar 6. Liquid Crystal Display

3.6 Buck Converter

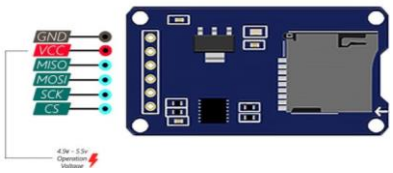
Buck converter adalah *DC-DC Converter* jenis penurun tegangan atau *step down*. *Buck converter* ini tersusun dari mosfet (saklar aktif) dan dioda (saklar pasif). Pada dasarnya prinsip kerja buck converter menggunakan switch yang bekerja dengan dua mode yaitu *switch ON* dan *switch OFF* [14]. Gambar 7 memperlihatkan rangkaian dari buck converter yang digunakan pada pembuatan alat ini [15].



Gambar 7. Rangkaian Buck Converter

3.7 MicroSD Card Module

Modul SD Card adalah sebuah modul yang berfungsi untuk membaca dan menulis data ke dari SD Card. Gambar 8 memperlihatkan microSD card modul yang digunakan pada alat yang telah dibuat [16].



Gambar 8. Micro SD Card Module

3.8 Sampel Baterai Yang Diukur

Baterai Asam Timbal yang diperkirakan nilai SoCnya menggunakan alat peekiraan yang berhasil dibuat terdiri dari 2 merek baterai, yaitu Incoe Hybrid NS70 dan GForce MF NS70. Gambar 9 memperlihatkan bentuk fisik salah satu sampel baterai Asam Timbal dan Tabel 3 menjelaskan spesifikasinya.



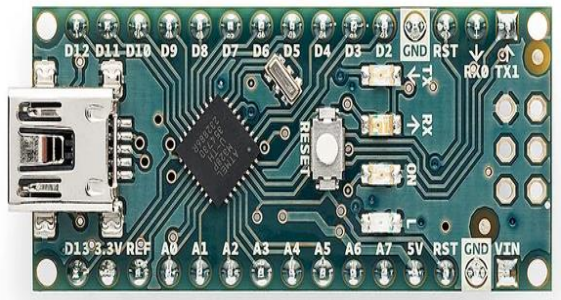
Gambar 9. Bentuk Fisik Baterai Asam Timbal

Tabel 3. Spesifikasi Sampel Baterai Asam Timbal

Merek		INCOE Hybrid	G Force MF
Serial		NS 70 (65D26R)	NS 70 (65D26R)
Tegangan		12V	12V
Kapasitas	20Hr	65 AH	65 AH
	5 Hr	52 AH	52 AH
CCA		530A	600 A
Dimensi		260x173x204 mm	238x129x203 mm
Tanggal Penggunaan		16 Maret 2025	24 Maret 2024

3.9 Arduino Nano

Arduino adalah modul elektronik *open source* berbasis mikrokontroller Atmega328P. Modul ini ini memiliki 14 pin input/output digital (yang 6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, kristal kuarsa 16 MHz, koneksi USB, jack daya, header ICSP dan tombol reset. Modul ini memuat semua komponen yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler dengan hanya menghubungkan nya ke komputer menggunakan kabel USB atau beri daya melalui adaptor AC-ke-DC atau baterai untuk mulai menggunakannya. Masing-masing pin digital dapat berfungsi sebagai input dan output tergantung pengguna melalui *coding* program. Arduino Nano dapat diprogram menggunakan *software* arduino *sketch* (IDE) dengan menggunakan bahasa pemrograman C [10]. Gambar 10 menunjukkan bentuk dari Arduino Nano [4].

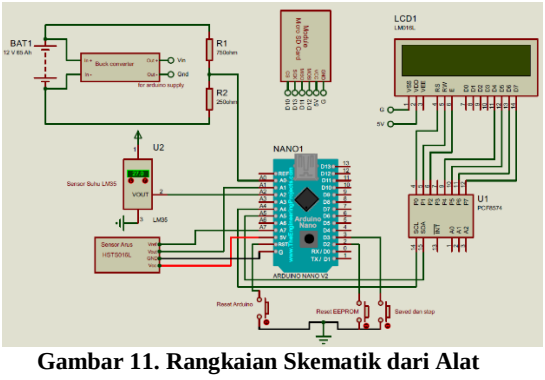


Gambar 10. Mikrokontroller Arduino Nano

IV. Hasil dan Analisis

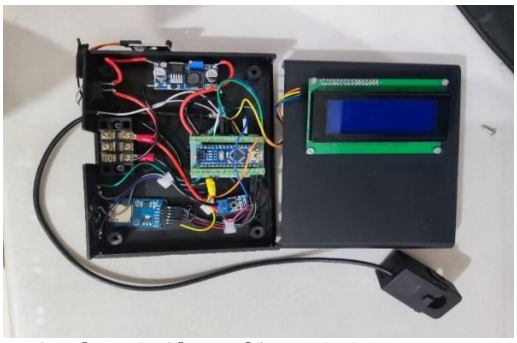
4.1 Alat perkiraan SoC Baterai Asam Timbal

Gambar 11 memperlihatkan rangkaian skematik dari alat perkiraan SoC Baterai Asam Timbal dengan Metode CC yang berhasil dibuat menggunakan perangkat lunak Proteus 8. Sedangkan alat yang telah berhasil dirancang bangun perlihatkan pada Gambar 12. Uji coba alat untuk perkiraan SoC Baterai Asam Timbal diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 11. Rangkaian Skematik dari Alat Perkiraan SoC Dengan Metode CC

Sedangkan alat yang telah berhasil dirancang bangun perlihatkan pada Gambar 12. Uji coba alat untuk perkiraan SoC Baterai Asam Timbal diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 12. Alat perkiraan SoC



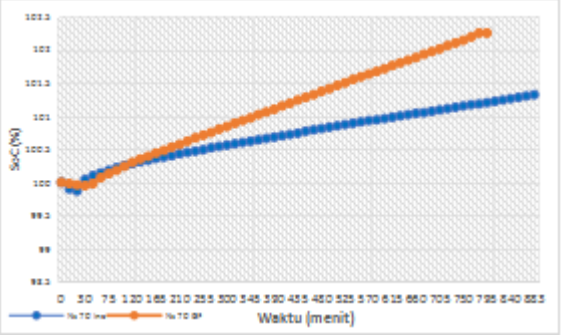
Gambar 13. Uji Coba Alat untuk Perkiraan SoC Baterai Asam Timbal

4.2 Pengujian Sensor Tegangan dan Sensor Arus

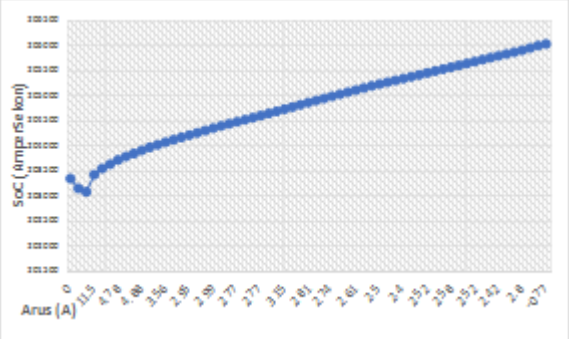
Karena alat perkiraan SoH yang dibuat menggunakan sensor tegangan dan sensor arus sebagai komponen utama, maka diperlukan pengujian terlebih dahulu untuk mengetahui besar kesalahan yang disumbangkan oleh kedua jenis sensor ini. Pengujian kedua jenis sensor ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan oleh Catu Daya GPS-30300 dengan Multimeter Standar yang terdapat pada Laboratorium Elektronika Dasar Fakultas Tenik USU. Dari hasil pengujian untuk sejumlah variasi tegangan dan rus diperoleh bahwa kesalahan rata-rata Sensor Tegangan dan Sensor arus yang dipakai pada alat perkiraan SoC yang telah berhasil dibuat masing-masing sebesar 0.57% dan 4.3%.

4.3 Pengujian Nilai State of Charge

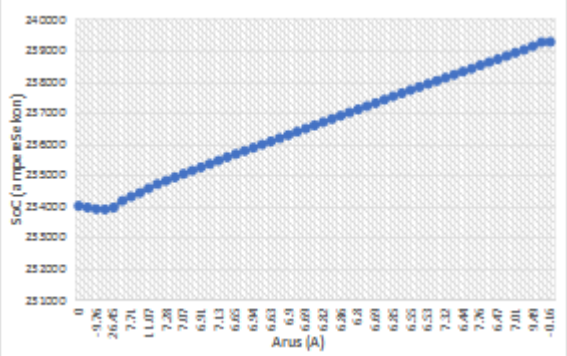
Data hasil pengujian pengisian baterai asam timbal Incoe NS70 dan G-force NS70 pada saat mesin mobil dihidupkan dan setelah hidup diperlihatkan pada grafik Gambar 14. Terlihat bahwa saat mobil melakukan starting diperlukan beberapa persen dari kapasitas yang tersedia pada baterai (discharging) dan setelah mesin hidup maka alternator akan mengisi baterai (charging). Hasil perkiraan SoC oleh alat terhadap arus untuk masing-masing baterai asam timbal diperlihatkan pada Grafik Gambar 15 dan 16.



Gambar 14. Grafik Hubungan SoC % Terhadap Waktu

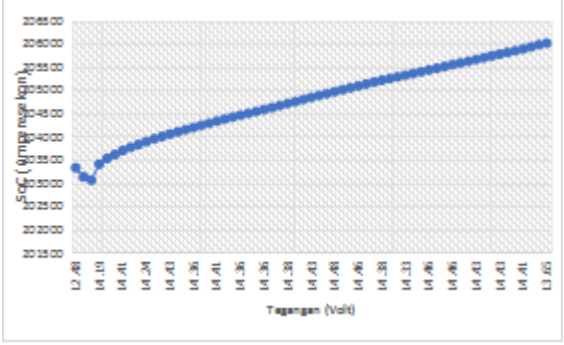


Gambar 14. Grafik Hubungan SoC (As) Incoe NS70 Terhadap Arus

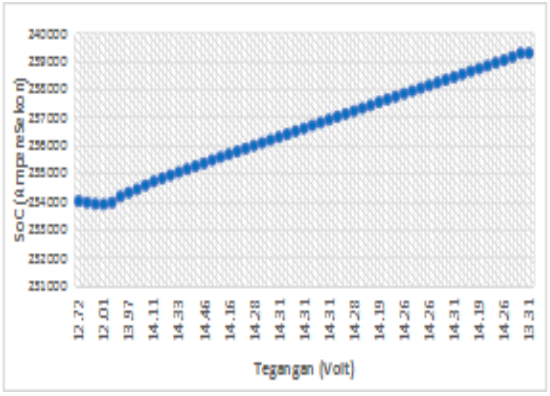


Gambar 15. Grafik Hubungan SoC (As) GForce NS70 Terhadap Arus

Sedangkan hasil perkirakan SoC oleh alat terhadap tegangan untuk masing-masing baterai asam timbal diperlihatkan pada Grafik Gambar 17 dan 18.



Gambar 17. Grafik Hubungan SoC (As) Incoe NS70 Tehadap Tegangan



Gambar 18. Grafik Hubungan SoC (As) GForce NS70 Terhadap Tegangan

Berdasarkan Gambar 17 pada baterai Incoe NS70 dapat dilihat bahwa saat melakukan *starting* tegangan baterai akan mengalami voltage drop, dimana tegangan awal baterai 12.48V turun menjadi 11.08V. Sedangkan berdasarkan Gambar 18 pada baterai GForce NS70 dapat dilihat bahwa saat melakukan *starting* tegangan akan mengalami *voltage drop*, dimana tegangan awal baterai 12.72V turun menjadi 10.67V dan saat melakukan pengisian tegangan memiliki nilai sekitar 14V, dapat disimpulkan bahwa usia baterai yang lebih baru akan mengalami voltage drop lebih rendah dibandingkan dengan baterai lama meskipun tegangan baterai lama lebih tinggi.

IV. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada pengujian sensor tegangan didapatkan error sebesar 0,57%, pengujian sensor arus HSTS016L memiliki kesalahan sebesar 4.3% dan pengujian nilai *State of Health* pada 4 baterai memiliki total kesalahan sebesar 6.1%.
2. Perkiraan SoC baterai yang akurat dapat mencegah baterai dari keadaan *overdischarge* dan *overcharge* sehingga dapat mempertahankan umur baterai dan mengurangi penurunan kinerja baterai selama digunakan.
3. Hasil perkiraan status SoC juga dapat membantu menghindari keadaan yang tak diinginkan saat kendaraan dipergunakan, seperti mesin kendaraan baru dimatikan tetapi tidak bisa dihidupkan (starting) kembali akibat baterai tekor.
4. Metode CC dapat dipertimbangkan sebagai algoritma pada alat prediksi SoC baterai asam timbal untuk pengembangan Battery Management System (BMS) yang lebih cerdas dan aman pada kendaraan listrik maupun sistem penyimpanan energi.

Daftar Pustaka

[1] https://energyeducation.ca/encyclopedia/ Battery

[2] D. Li, D. L. Danilov, H. J. Bergveld, R. A. Eichel, and P. H. Notten, 2019, *Understanding battery aging mechanisms*.

[3] W. J. Ingram, 1998, *New Technology Batteries Guide*," pp. 1–63.

[4] https://store.arduino.cc/products/arduinonano

[5] D.Widjajanto *et al.*, *Estimasi Kondisi Muatan dan Kondisi Kesehatan Baterai VRLA dengan Metode RVP (Estimation of VRLA Batery's SOC and SOH Using SVR Method)*, J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol.

[6] T. Wu and J. Wang, 2016, *Estimating Method for Lithium-Ion Batteries*," pp. 1–6.

[7] A. Nugroho, A. Nugroho, and E. Rijanto, *Simulasi Optimasi Pengukuran State of Charge Baterai Dengan Integral Observer*, *Widyariset*, vol. 17, no. 3, pp. 323–332, 2014, [Online].

[6] W.-Y. Chang, 2013, *The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review*, *ISRN Appl. Math.*, vol. no. 1, pp. 1–7, 2013, doi: 10.1155/2013/953792.

[7] Venkat, 2020, *50% Depth of Discharge for Lead Acid Battery*, Ecosoch. https://www.ecosoch.com/lead-acid-battery/ (Diakses Mei 19, 2023).

[8] Rramon@epicpower.es, 2020, *State of Charge, Health and Power in batteries. Definition*, [Online].

[9] S. Battery and E. Society, *IEEE Std 450-2020 (Revision of IEEE Std 450-2010) IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications*.

[10] M. Murnane and A. Ghazel, 2017, *A Closer Look at State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) Estimation Techniques for Batteries*, Analog devices, [Online].

[11] B. Artono and R. G. Putra, 2019, *Penerapan Internet Of Things (IoT) Untuk Kontrol Lampu Menggunakan Arduino Berbasis Web*, J. Teknol. Inf. dan Terap., vol. 5, no. 1, pp. 9–16, doi: 10.25047/jtit.v5i1.73.

[12] S. Suhaeb, Y. Abd Djawad, H. Jaya, Ridwansyah, Sabran, and A. Risal, 2017, *Mikrokontroler dan Interface*, Buku Ajar Jur. Pendidik. Tek. Elektron. UNM, pp. 2–3.

[13] K. V. M. Cables, *HST21*, *Hall split core current sensor.*, Computer (Long. Beach. Calif)., pp. 1–2.

[14] B. R. A, A. Syakur, and A. Adi, 2021, *Perancangan Prototipe Alat Ukur Tegangan Ujung Feeder Menggunakan Metode Pembagi Tegangan*, vol. 10, no. 1.

[15] A.B. Pulungan and T. Ramadhani, 2018, *Buck Converter Sebagai Regulator Aliran Daya Pada Pengereman Regeneratif*, J. EECCIS, vol. 12, no. 2, pp. 93–97.

[16] D. K. Allo, J. D. Mamahit, Bahrun, and M. N. Tulung, 2013, *Rancang Bangun Alat Ukur Temperatur Untuk Mengukur Selisih Dua Keadaan*, J. Tek. Elektro dan Komput., vol. 2, no. 1, pp. 1–7.