

ANALISIS ESTIMASI STATE OF CHARGE BATERAI LI-ION BERBASIS OPEN CIRCUIT VOLTAGE DAN COULOMB COUNTING PADA OTOPED

*Bonifasius Aditya Bayuprakoso, Munadi, Paryanto

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: adityabayu459@gmail.com

Abstrak

Kerusakan pada baterai seringkali ada pada proses charging yang berlebih (*overcharging*) karena baterai tidak terdapat sistem pemantau kapasitas baterai yang baik. Dalam penelitian ini berfokus pada proses monitoring baterai terhadap pengoperasian kendaraan Otoped listrik yaitu dengan cara merancang sistem estimasi SOC (*State of Charge*). Pada proses perancangan SOC dan ini menggunakan Sensor ACS712 dan *Voltage Divider*, dan Arduino Nano Atmega238 sebagai mikrokontroler. Metode estimasi yang digunakan pada perhitungan state of charge ini dilakukan secara langsung berdasarkan metode *Open Circuit Voltage* dan *Coulomb Counting*. Hasil validasi sensor ACS712 menunjukkan error relatif rata-rata arus sebesar 1,19% dan hasil validasi pembagi tegangan menunjukkan error rata-rata 0,45%. Hasil pengujian idle selama 60 detik pada otoped menunjukkan nilai SOC tetap sedangkan pengujian *discharging* menggunakan mode ECO turun dari 70,3% ke 70,29% dan mode Drive dari 70,29% ke 70,25%. Hasil pengujian *charging* pada otoped menunjukkan kenaikan SOC dari 72,75% menjadi 73,07%. Nilai SOC, tegangan, dan arus dapat dilihat pada LCD 16x2 serta *board* keseluruhan sistem berhasil dipasang pada otoped listrik.

Kata kunci: *coulomb counting*; ; *open circuit voltage*; mikrokontroler; state of chargesensor ACS712

Abstract

A failure to the battery is often often occurs in the process of overcharging because the battery does not have a good battery capacity monitoring system. This study focuses on the process of monitoring the battery for the operation of electric scooter, namely by designing an SOC (*State of Charge*) estimation system. In the process of designing the SOC and the cut-off using the ACS712 Sensor and voltage divider, and Arduino Nano Atmega238 as a microcontroller. The estimation method used in the calculation of the state of charge is carried out directly based on the *Open Circuit Voltage* and *Coulomb Counting* methods. The validation results of the ACS712 sensor show an average relative error of 1.19% and the results of the voltage divider validation show an average error of 0.45%. The results of the idle test for 60 seconds on the scooter show that the SOC value remains while the *discharging* test using ECO mode drops from 70.3% to 70.29% and Drive mode from 70.29% to 70.25%. The results of the charging test on the scooter showed an increase in SOC from 72.75% to 73.07%. The SOC, voltage, and current values can be seen on the 16x2 LCD and the entire system board has been successfully installed on the electric scooter.

Keywords: *coulomb counting*; ; *open circuit voltage*; mikrokontroler; state of chargesensor ACS712

1. Pendahuluan

Polusi di daerah perkotaan dan masalah lingkungan yang disebabkan oleh emisi serta kenaikan harga minyak mendorong para ilmuwan dan perusahaan untuk menyelidiki sumber energi dan alat transportasi lainnya. Hal ini tercermin khususnya di industri otomotif dengan upaya dan minat yang meningkat pada elektrifikasi kendaraan [1],[2]. Saat ini, mobilitas mikro perkotaan memicu perubahan besar pada mobilitas di lingkungan perkotaan yang padat karena mobil dianggap sebagai moda transportasi yang tidak berkelanjutan karena banyak eksternalitas yang dihasilkan seperti emisi rumah kaca dan kebisingan, kemacetan lalu lintas, dan kecelakaan di jalan [3].

Skuter listrik dianggap sebagai teknologi hijau baru untuk transportasi dan dianggap sebagai pasar yang berkelanjutan dan industri potensial bagi banyak negara [4]. Kendaraan ini dapat mempengaruhi penggunaan sistem transportasi umum yang ada serta ruang publik seperti jalan, alun-alun, dan taman [5]. Baterai adalah perangkat penyimpanan energi listrik yang paling umum di Otoped [6]. Performa baterai saat dihubungkan ke beban atau sumber didasarkan pada reaksi kimia di dalam baterai. Bahan kimia menurun seiring waktu dan penggunaan yang mencerminkan pengurangan bertahap dalam kapasitas penyimpanan energi baterai [7]. Proses penyusutan baterai perlu dikurangi dengan mengkondisikan baterai dengan cara yang sesuai dengan mengontrol profil pengisian dan pengosongannya, bahkan dalam berbagai kondisi beban. Secara umum, masa pakai baterai akan berkurang bila baterai

dioperasikan pada berbagai kondisi termal dan siklus pengisian dan pengosongan yang sering, khususnya pada kondisi arus pulsa tinggi. Baterai adalah aman, meskipun ada laporan ledakan atau kegagalan, bila digunakan dengan sistem pengkondisian daya yang menyertakan fitur keselamatan dan pemutus otomatis [8]

SOC didefinisikan sebagai kapasitas baterai saat ini yang dinyatakan dalam kapasitas pengenalnya [9]. SOC memberikan status baterai saat ini dan memungkinkan baterai diisi dan dikosongkan dengan aman pada tingkat yang sesuai untuk peningkatan masa pakai baterai. Dengan demikian, SOC membantu dalam pengelolaan baterai [10].

Banyak penelitian yang menunjukkan bahwa SOC dapat digunakan untuk *monitoring* arus dan tegangan dengan optimal pada kendaraan listrik. Penelitian yang dilakukan oleh Vitols dan Poiss (2018) tentang *Battery Management System* pada skuter listrik menggunakan Arduino menunjukkan keberhasilan dalam pengukuran arus, *cell balancing*, dan sistem *cutoff* [11]. Penelitian lain yang dilakukan Putra dan Sujono (2021) tentang *Battery Management System* untuk mobil listrik menunjukkan keberhasilan pada monitor arus dan tegangan serta sistem *cutoff* pada saat *charging* maupun *discharging* lalu menampilkan hasilnya pada layar LCD [12].

Menggunakan metode *Coloumb Counting* dan OCV (*Open Circuit Voltage*) sebagai untuk mendapatkan nilai estimasi SOC (*State of Charge*) sebagai bentuk ataupun cara untuk menghindari kondisi *overcharging* maupun *overdischarging* yaitu dengan memperhatikan arus yang masuk maupun keluar dari baterai terhadap waktu dan melihat kondisi suhu pada lingkungan baterai atau dalam sebutan bahwa nilai OCV didapatkan apabila baterai dalam kondisi 'istirahat' atau dalam keadaan sedang tidak dialiri listrik (tanpa beban) [13].

Pada penelitian ini berfokus pada perancangan sistem estimasi *State of Charge* pada baterai otoped yang bertujuan untuk *monitoring* kondisi baterai *charge* dan *discharge* dan juga proteksi dari kondisi *overcharge* serta *over discharge*.

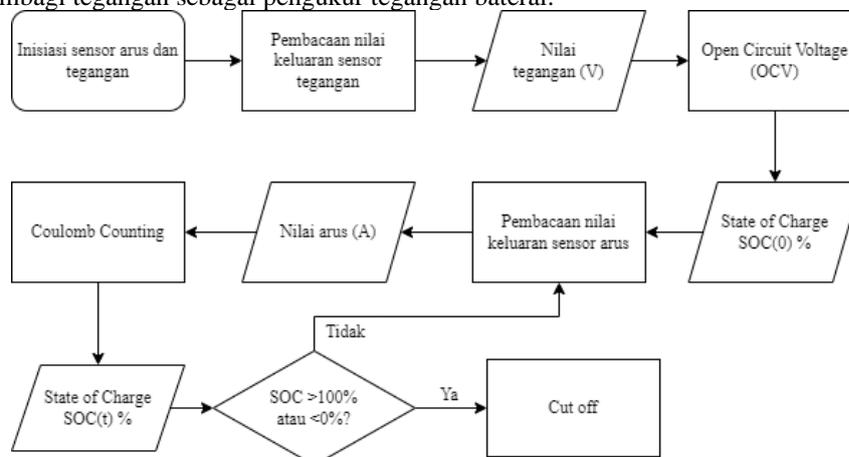
2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1. Komponen utama

Komponen utama yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut: Arduino Nano Atmega328 sebagai pengendali utama atau mikrokontroler untuk dapat menjalankan sistem. Sensor ACS712 sebagai sensor pengukur arus yang mengalir dimana menggunakan prinsip *Hall Effect* untuk mengukur nilai arus dengan output nilai analog [14]. Resistor pembagi tegangan yang terdiri dari resistor 2 k Ω dan 15 k Ω 2 Watt yang berfungsi untuk membagi tegangan (*voltage divider*) dengan dirakit secara seri dan antara kedua hambatan tersebut yang diambil sebuah jalur untuk input tegangan [15]. LCD 16x2 dengan modul i2c untuk menampilkan nilai pengukuran. LM2596HVS sebagai DC-DC Converter yang berfungsi untuk menurunkan tegangan baterai ke tegangan kerja Arduino dan memasok daya untuk menjalankan sistem. *Terminal power* 2 pin digunakan sebagai input baterai dan output ke motor atau charger. *Software* yang digunakan pada penelitian ini antara lain Arduino IDE untuk merancang program, Eagle PCB untuk desain *wiring* pada PCB dan Solidworks sebagai *software* untuk mendesain CAD dari *casing board*.

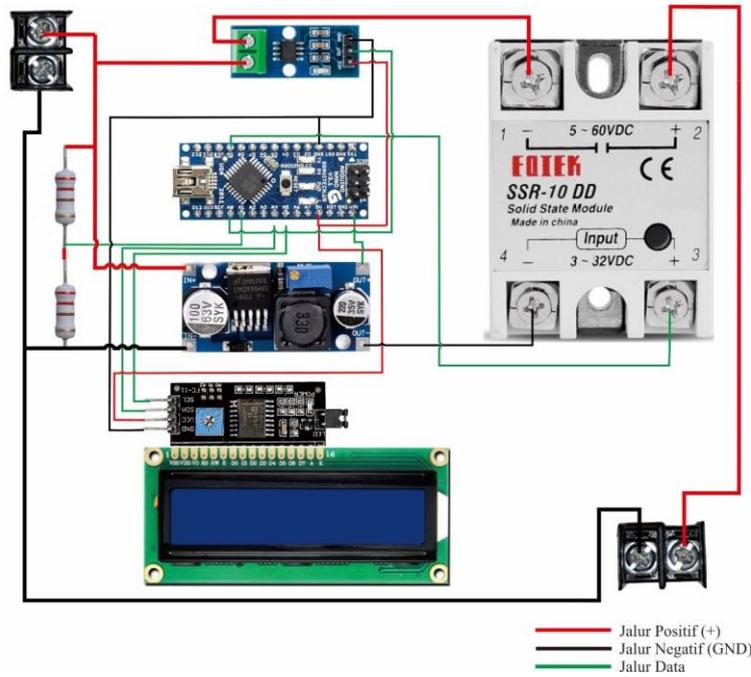
2.2. Pembuatan Alat

Perancangan alat dimulai dengan perancangan sistem estimasi *State of Charge*. Estimasi SOC menggunakan metode *Open Circuit Voltage* (OCV) dan *Coulomb Counting*. Sistem ini menggunakan sensor ACS712 sebagai sensor arus dan resistor pembagi tegangan sebagai pengukur tegangan baterai.



Gambar 1. Diagram Blok Algoritma Estimasi SOC

Gambar 1 menunjukkan blok diagram algoritma sistem estimasi SOC. Semua *hardware* yang digunakan disusun membentuk sebuah diagram elektronika dalam bentuk *wiring diagram*. Keseluruhan sensor terhubung dengan Arduino Nano sebagai mikrokontroler. Setelah semua *hardware* terhubung seperti pada *wiring diagram*, dilakukan pemrograman melalui PC pada semua Arduino sensor dapat membaca arus dan tegangan baterai kemudian menghitung estimasi Nilai SOC dan dapat bekerja ketika sistem mendeteksi terjadi *overcharge* ataupun *overdischarge* pada baterai.



Gambar 2. Wiring Diagram Keseluruhan Sistem

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Validasi ACS712

Pengujian kalibrasi dan validasi pembacaan sensor ACS712 dilakukan dengan membandingkan pembacaan arus antara sensor ACS712 dengan Multimeter. Hasil validasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil validasi sensor DHT22

ACS712 (A)	Multimeter (A)	Error Relatif (%)	Error Relatif Rata-Rata (%)
0,68	0,7	2,86	1,19
1,19	1,2	0,83	
1,69	1,7	0,59	
2,18	2,2	0,91	
2,68	2,7	0,74	

Berdasarkan hasil pengujian sensor ACS712 pada Tabel 1, didapatkan hasil validasi sensor ACS712 dengan berbagai kondisi nilai arus. Sensor ACS712 memiliki rata rata error relatif sebesar 1,19 % dengan nilai arus terendah 0,68 A dengan nilai error tertinggi yakni 2,86% dan nilai error terendah pada terjadi pada pengukuran 1,69 A dengan nilai error sebesar 0,59% .

3.2. Hasil Validasi Resistor Pembagi Tegangan

Pengujian validasi pembagi tegangan dilakukan dengan membandingkan pembacaan tegangan antara pembagi tegangan dengan Multimeter. Hasil validasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil validasi pembagi tegangan dan Multimeter.

Pembagi Tegangan (V)	Multimeter (V)	Error Relatif (%)	Error Relatif Rata-Rata (%)
20,92	21,03	0,52	0,45
24,86	25,02	0,64	
27,33	27,48	0,55	
29,97	30,1	0,43	
40,74	40,7	0,10	

Berdasarkan hasil pengujian pembagi tegangan pada Tabel 2, didapatkan hasil validasi pembagi tegangan dengan berbagai kondisi nilai tegangan. Pembagi tegangan memiliki rata rata error relatif sebesar 0,45 % dengan nilai tegangan terendah 20,92 V dengan nilai error tertinggi yakni 0,52% dan nilai error terendah pada terjadi pada pengukuran 40,74 V dengan nilai error sebesar 0,10% .

3.3. Hasil Pengujian Sistem Estimasi SOC

Pengujian sistem estimasi State of Charge dilakukan dengan memasang PCB yang telah dirakit pada otoped kemudian dilakukan pengujian idle on, discharge mode ECO dan Drive, serta charging untuk mengetahui dapat berjalan di berbagai kondisi penggunaan otoped yakni ketika berdiam (*idle*), berjalan (*discharging*), dan pengisian baterai (*charging*). Hasil pengujian idle on dimana pengujian ini dilakukan dengan menyalakan sistem otoped dan dibiarkan secara standby dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian *idle on* sistem SOC tanpa beban

Waktu (s)	Arus (A)	Tegangan (V)	SOC (%)
5	-0,04	38,52	70,64
10	-0,04	38,52	70,64
15	-0,04	38,52	70,64
20	-0,04	38,52	70,64
25	-0,04	38,52	70,64
30	-0,05	38,52	70,64
35	-0,05	38,52	70,64
40	-0,04	38,52	70,64
45	-0,04	38,52	70,64
50	-0,04	38,52	70,64
55	-0,05	38,52	70,64
60	-0,04	38,52	70,64

Pada tabel 3 terlihat terlihat hasil pengujian sistem SOC dinyalakan standby selama 60 detik. Untuk data yang diterima adalah arus, tegangan, dan SOC. Pada awal pengujian nilai SOC sebesar 70,64% dan pada akhir pengujian tetap 70,64%. Arus mengalir keluar baterai untuk tetap meyalakan sistem dengan arus yang cukup kecil rata-rata 0,0393 A dengan nilai tegangan yang sama.

Pengujian *discharging* pada otoped dilakukan dengan menyambungkan *board* ke sistem otoped dimana terminal *power* tersambung dengan baterai dan terminal *load* tersambung dengan motor listrik BLDC. Pengujian ini dilakukan dengan memilih mode berkendara ECO dengan kecepatan maksimum 8 km/jam dan otoped digantung dengan tidak ada beban. Hasil pengujian discharging mode ECO dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian *discharging* sistem SOC mode ECO

Waktu (s)	Arus (A)	Tegangan (V)	SOC (%)
5	-1,04	38,27	70,3
10	-0,16	38,48	70,3
15	-0,16	38,44	70,3
20	-0,16	38,44	70,29
25	-0,12	38,35	70,29
30	-0,13	38,48	70,29
35	-0,16	38,31	70,29
40	-0,13	38,48	70,29
45	-0,16	38,39	70,29
50	-0,16	38,31	70,29
55	-0,16	38,44	70,29
60	-0,16	38,48	70,29

Pada tabel 4 terlihat hasil pengujian sistem SOC saat *discharging* menggunakan mode ECO selama 60 detik. Untuk data yang diterima adalah arus, tegangan, dan SOC. Pada awal pengujian nilai SOC sebesar 70,3% dan pada akhir pengujian sebesar 70,29% dengan nilai arus yang mengalir keluar rata-rata 0,1303 A. Pengujian discharging mode Drive dilakukan dengan memilih mode berkendara Drive dengan kecepatan maksimum menurut klaim pabrik sebesar 25 km/jam dan otoped digantung tanpa beban. Hasil pengujian discharging mode Drive dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian *discharging* sistem SOC mode Drive

Waktu (s)	Arus (A)	Tegangan (V)	SOC (%)
5	-2,50	37,97	70,29
10	-0,66	38,31	70,29
15	-0,65	38,27	70,28
20	-1,08	38,27	70,28
25	-0,62	38,31	70,27

30	-0,64	38,31	70,27
35	-0,57	38,31	70,27
40	-0,53	38,35	70,26
45	-0,69	38,31	70,26
50	-0,54	38,31	70,25
55	-0,92	38,27	70,25
60	-0,60	38,31	70,25

Pada Tabel 5 terlihat hasil pengujian sistem SOC saat *discharging* menggunakan mode Drive selama 60 detik. Pada saat akselerasi awal motor BLDC menarik arus lebih besar hingga 2,5 A sesaat dan tegangan baterai turun ke nilai terendah pada saat yang bersamaan hingga 37,97 V untuk mencapai kecepatan maksimum pada pengujian di 21 km/jam sebelum di batasi oleh kontroler dan menurunkan arus motor dengan rata-rata 0,4614 A untuk menjaga kecepatan maksimumnya. Pada pengujian nilai SOC turun dari 70,29% menjadi 70,25%.

Pengujian *charging* pada otoped dilakukan dengan menyambungkan *board* ke sistem otoped dimana terminal *power* tersambung dengan baterai dan terminal *load* tersambung dengan charger otoped dengan output maksimum 2,97 A. Hasil pengujian *charging* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian *charging* sistem SOC

Waktu (s)	Arus (A)	Tegangan (V)	SOC (%)
5	2,97	39,36	72,77
10	2,96	39,4	72,8
15	2,96	39,4	72,83
20	2,96	39,4	72,85
25	2,96	39,4	72,88
30	2,96	39,44	72,91
35	2,96	39,44	72,93
40	2,97	39,44	72,96
45	2,97	39,44	72,99
50	2,96	39,44	73,01
55	2,96	39,44	73,04
60	2,97	39,48	73,06

Pada Tabel 6 terlihat hasil pengujian *charging* sistem SOC selama 60 detik. Proses *charging* dimulai pada saat tegangan baterai otoped 39,36 V. Besaran arus yang diterima baterai oleh *charger* sesuai dengan spesifikasi *charger* yakni $\pm 2,96$ A dengan rata-rata arus *charging* sebesar 2,955 A. Selama proses *charging* baterai, tegangan baterai juga meningkat seiring dengan naiknya nilai SOC dimana tegangan awal berada pada 39,36 V kemudian meningkat menjadi 39,48 V setelah 60 detik. Nilai SOC pada baterai saat *charging* berbanding lurus dengan lamanya proses *charging* dimana proses *charging* tersebut menyebabkan naiknya SOC dari 72,77% ke 73,66% dalam 60 detik.

3.4. Instalasi Pada Otoped

Board PCB sistem *State of Charge* (SOC) yang sudah dibuat kemudian diinstalasikan pada bagian otoped. Lokasi pemasangan dipilih pada bagian dek atau lantai otoped. Dek otoped dipilih karena lokasi tersebut memiliki tempat yang cukup luas untuk board tersebut. Sebagai tambahan proteksi agar dek otoped tetap bisa digunakan maka dibuat *casing board PCB*. Desain tiga dimensi *casing board* pada otoped dapat dilihat Gambar 3.



Gambar 3. Desain CAD *casing board* otoped

Material yang dipilih untuk *casing board* adalah besi 12 mm karena kekuatan yang cukup baik dimensi utama dari *casing* adalah 257,77 x 170 x 62 mm dengan dalam pada *casing* setinggi 50 mm. Pada bagian samping *casing* terdapat lubang untuk LCD dengan ukuran 70 x 25 mm sebagai tempat LCD 16x2 untuk menampilkan nilai estimasi *State of Charge*, tegangan, dan arus baterai otoped. Hasil pemotongan dan pemasangan bagian *casing* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil pemasangan casing pada otoped

4. Kesimpulan

Pada penelitian Analisa Estimasi *State Of Charge* Baterai Li-Ion Berbasis OCV dan *Coulomb Counting* pada Otoped bahwa berhasil dirancang sistem estimasi SOC untuk monitoring kapasitas baterai Li-Ion pada otoped. Sensor ACS712 digunakan sebagai sensor untuk mengukur arus yang mengalir pada rangkaian dan telah dilakukan validasi terhadap Multimeter. Hasil validasi sensor adalah memiliki rata-rata error relatif 1,19%. Resistor 2k Ω dan 15k Ω 2Watt digunakan sebagai pembagi tegangan untuk mengukur nilai tegangan pada baterai dan telah dilakukan kalibrasi serta validasi terhadap Multimeter. Hasil kalibrasi dan validasi terhadap Multimeter memiliki rata-rata error relatif sebesar 0,45%. Sistem estimasi SOC menggunakan metode OCV dan *coulomb counting* berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler Arduino Nano dengan *output* persentase baterai otoped. Pada pengujian *idle*, rata-rata arus yang mengalir pada baterai adalah -0,039 A dan SOC baterai cenderung konstan pada 70,64% selama 60 detik. Pada pengujian *discharging* mode ECO, rata-rata arus yang mengalir pada baterai adalah -0,131A dan turunnya SOC dari 70,3% menjadi 70,29% selama 60 detik. Pada pengujian *discharging* mode Drive, rata-rata arus yang mengalir pada baterai adalah -0,461A dan turunnya SOC dari 70,29% menjadi 70,25% selama 60 detik. Pada pengujian *charging*, rata-rata Arus yang mengalir adalah 2,955 A dan naiknya SOC dari 72,75% menjadi 73,07% selama 60 detik. Hasil perancangan elektrik dan *hardware* keseluruhan sistem ini dilakukan dengan mencetak PCB dengan *wiring* dan *routing* kemudian diinstalasi pada otoped dengan tambahan casing untuk proteksi PCB.

5. Daftar Pustaka

- [1] Maggeto, G. & Van Mierlo, J., 2000 "Electric and Electric Hybrid Vehicle Technology: a survey. Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles". *IEE Seminar*, 40(1), pp. 1–111.
- [2] Calef D. & Goble R., 2007. "The Allure of Technology: How France and California Promoted Electric and Hybrid Vehicles to Reduce Urban Air Pollution". *Policy Sciences*, 40(1), pp. 1–34.
- [3] Zagorskas, J., & Burinskiene, M. 2020. "Challenges Caused by Increased Use of E-Powered Personal Mobility Vehicles in European Cities". *Sustainability*, 12(1), 273.
- [4] J.-R. Chou & S.W. Hsiao. 2005 "Product design and prototype making for an electric scooter". *Materials and Design*, 48(5), pp. 439–449.
- [5] Boglietti, Stefania, dkk. 2022. "First Experimental Comparison between E-Kick Scooters and E-Bike's Vibrational Dynamics", *Transportation Research Procedia*, 62, pp. 743-751.
- [6] Gould, R., dkk., 2009. "New Battery Model and State-of-Health Determination through Subspace Parameter Estimation and State-Observer Techniques", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 58(8), pp. 3905-3916.
- [7] Szumanowski, A. & Chang, Y., 2008 "Battery Management System based on Battery Nonlinear Dynamics Modeling", *IEEE Trans. Veh. Technol.* 57(3), pp. 1425-1432.
- [8] Solero, L. 2001. "Nonconventional On-Board Charger for Electric Vehicle Propulsion Batteries", *IEEE Trans. Veh. Technol.* 50(1), pp. 144-149.
- [9] Affanni, A., dkk. 2005 "Battery Choice and Management for New-Generation Electric Vehicles", *Transmisi*, 22, (1), pp. 6-13.
- [10] Cheng, K.W.E., dkk. 2011. "Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles", *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 60(1), pp. 76-8.
- [11] Vitol, Kristaps & Poiss, Eizens. 2018. "Development of Electric Scooter Battery Pack Management System". *IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*.
- [12] Putra, D. A., & Sujono. 2021. "Rancang Bangun Prototipe Sistem Manajemen Baaterai pada Mobil Listrik Neo Blitz 2 Menggunakan Mikrokontroler". *Jurnal Maestro*, 4(1), 157-162.
- [13] Ningrum, P., Windarko, N. A., & Suhariningsih, S., 2019, "Battery Management System (BMS) Dengan State Of Charge (SOC) Metode Modified Coulomb Counting", *INOVTEK-Seri Elektro*, 1(1): 1-10.
- [14] Xu, Dongdong, dkk. 2019. "The Power Frequency Voltage Divider Calibration Device and Its Uncertainty". *Energy Reports* 6, 380-384.
- [15] Prihananto, P. L. D., dkk. 2019. Perancangan Cut Off Sebagai Pemutus Tegangan Dan Arus Sistem Charging Baterai. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(4), 911-917.