

DESIGN OF WIRELESS SENSOR NETWORK FOR BATTERY MANAGEMENT SYSTEM IN SOLAR PUBLIC STREET LIGHTING

RANCANG BANGUN *WIRELESS SENSOR NETWORK* UNTUK *BATTERY MANAGEMENT SYSTEM* PADA PENERANGAN JALAN UMUM TENAGA SURYA

Diana Rahmawati^{1*}, Hanifudin sukri², Muhammad Afif Alfian³, Heri Setiawan⁴, Rachmat Setiawibawa⁵

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura, Indonesia

Email: diana.rahmawati@trunojoyo.ac.id

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura, Indonesia

Email: hanifudin.sukri@trunojoyo.ac.id

³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura, Indonesia

Email: afifalfian717@gmail.com

⁴Program Studi Elektronika Sistem Senjata, Politeknik Angkatan Darat, Indonesia

Email: herisetiawan@poltekad.ac.id

⁵Program Studi Teknik Otomotif Kendaraan Tempur, Politeknik Angkatan Darat, Indonesia

Email: rachmatsetiawibawa@poltekad.ac.id

Received: March 18, 2024 Revised: March 22, 2024 Published: April 03, 2024

DOI: <https://doi.org/10.24912/tesla.v26i1.29444>

Abstract

Batteries are an energy source that can be used as backup electrical energy in several electronic devices. Solar power generation (solar cells) and management of Public Street Lighting (PJUTS) require batteries as the main component so that the system can run well. Generally, the batteries used in solar cell systems and public street lighting use Lithium-Ion batteries because these batteries can last a long time and are more environmentally friendly. However, there are often problems that can occur with batteries used in Solar Power Generation (PLTS) systems, namely that they easily degrade, have a short life cycle and there are losses in the battery caused by internal resistance. This problem can be avoided with a Battery Management System (BMS) that is good at monitoring system performance effectively to avoid damage and failure in battery function. With advances in technology, a model for monitoring and storing current, voltage and battery temperature values was created that was integrated with an Android device via Internet of Things communication using a NodeMCU device, WCS1800 sensor, DSB1820 sensor and 4 12V Lithium-Ion batteries using the IoT application. on smartphones and Coulomb calculations. The state of charge and state of health values are obtained using 2 nodes with specifications per node having a light load of 4 with a size of 50 Watts.

Keywords: *Lithium-Ion, Battery Management System (BMS), Public Street Lighting, Internet Of Things(IoT)*

Abstrak

Baterai merupakan sumber energi yang dapat digunakan sebagai cadangan energi listrik pada beberapa perangkat elektronik. Pembangkit listrik tenaga surya (*solar cell*) dan pengelolaan Penerangan Jalan Umum (PJUTS) membutuhkan baterai sebagai komponen utamanya agar sistem dapat berjalan dengan baik. Umumnya baterai yang digunakan dalam sistem *solar cell* dan penerangan jalan umum menggunakan baterai *Lithium-Ion* karena baterai ini mampu bertahan lama dan lebih ramah lingkungan. Namun sering terjadi kendala yang dapat terjadi pada baterai yang digunakan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yaitu mudah mengalami degradasi, mendapati siklus hidup yang pendek dan terdapat rugi-rugi di dalam baterai yang disebabkan karena adanya hambatan internal. Kendala ini dapat dihindari dengan *Battery Management System (BMS)* yang bagus dalam *monitoring* kinerja sistem efektif untuk menghindari kerusakan dan kegagalan pada fungsi baterai. Dengan adanya kemajuan teknologi dibuatlah sebuah model pemantauan dan menyimpan nilai arus, tegangan, dan temperatur baterai yang terintegrasi dengan perangkat android melalui komunikasi *Internet Of Things* dengan menggunakan perangkat NodeMCU, sensor WCS1800, sensor DSB1820 dan 4 buah baterai *Lithium-Ion* 12V

dengan menggunakan aplikasi *IoT* di *smartphone* dan perhitungan *Coulomb*. Nilai *state of charge* dan *state of health* didapatkan dengan menggunakan 2 node dengan spesifikasi per node memiliki beban lampu sebanyak 4 buah dengan ukuran 50 Watt.

Kata Kunci: *Lithium-ion, Battery Management System (BMS), Penerangan Jalan Umum, Internet Of Things*

PENDAHULUAN

Asia Tenggara telah menjadi titik fokus bagi pembangunan ekonomi dan pertumbuhan energi. Meningkatnya permintaan energi di kawasan ASEAN diharapkan dapat dipenuhi melalui perluasan penggunaan energi terbarukan[1][2]. Tenaga listrik yang digunakan untuk penerangan jalan umum memiliki beberapa keterbatasan seperti biaya operasional yang tinggi, ketergantungan pada jaringan listrik dan sulitnya akses untuk wilayah yang terpencil. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) [2]. Modul panel surya, inverter, baterai, dan sistem kontrol merupakan komponen utama yang digunakan dalam sistem panel surya[1]. Penggunaan tenaga surya dapat mengurangi biaya operasional dan ketergantungan pada jaringan listrik[1], [3], [4]. Namun, penggunaan tenaga surya juga memiliki beberapa tantangan, terutama dalam hal manajemen baterai[2].

Dalam hal ini, *Battery Management System (BMS)* diperlukan untuk meningkatkan kinerja dan memperpanjang umur baterai[5]–[9]. BMS memiliki dua aspek utama, yaitu pengendalian dan pemantauan. Untuk menjalankan sistem kontrol pengisian dan pengosongan baterai yang tepat, diperlukan sistem pemantauan yang cepat, tepat, dan akurat[4], [6], [7][10]. BMS yang ideal akan memiliki konsumsi daya yang rendah saat mencapai kapasitas penuh baterai, sehingga dapat menghemat energi[11]. BMS juga mampu memantau parameter operasional baterai seperti tegangan, arus, dan suhu selama pengisian dan pemakaian, serta memperkirakan status baterai pada *state of charge (SoC)* dan *state of health (SoH)*[9], [12].

Untuk mengatasi tantangan tersebut, penelitian dilakukan untuk merancang dan mengembangkan sebuah BMS pada PJUTS dengan teknologi *Wireless Sensor Network (WSN)*, untuk monitoring sistem penerangan jalan umum secara *real-time* [13], [14].

LANDASAN TEORI

A. *Battery Management System (BMS)*

Battery Management System (BMS) adalah sistem elektronik yang berfungsi untuk mengatur, memonitoring dan menjaga baterai dari kondisi-kondisi yang dapat merusak baterai. BMS dapat mengatur, memeriksa dan melaporkan informasi mengenai kondisi baterai kepada pengguna. BMS memiliki fungsi penyeimbangan baterai, monitoring dan perlindungan dalam rangkaian cell baterai. Jika BMS tidak tepat, maka akan menimbulkan kegagalan termal yang buruk. BMS digunakan untuk monitoring status, pengaturan pengisian, pengosongan, kontrol termal, keseimbangan baterai, prediksi kesehatan baterai serta perlindungan keamanan penyimpanan energi baterai skala besar[13][15].

B. Metode Perhitungan *Coulomb*

Metode perhitungan *coulomb* adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghitung kapasitas baterai berdasarkan arus yang mengalir keluar dan masuk ke baterai

dalam suatu periode waktu tertentu[16]. Dalam implementasinya nilai arus (I) berupa diskrit karena tidak dimungkinkan untuk melakukan pencuplikan dengan waktu lim. Secara umum metode perhitungan *coulomb* dirumuskan sebagai berikut:

$$SoC(t) = SoC(t_0) \pm \frac{\eta}{C_n} \int_{t_0}^t I dt \quad (1)$$

Keterangan:

$SoC(t)$: persentase baterai (%)

$SoC(t_0)$: SoC awal sebelum terjadi proses pengisian

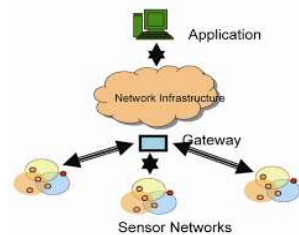
H : efisiensi pengisian baterai

C_n : kapasitas maksimum baterai

I : besar arus listrik yang masuk atau keluar dari baterai

C. *Wireless Sensor Network* (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) atau Jaringan Sensor Nirkabel adalah teknologi yang digunakan untuk memantau dan mengontrol lingkungan atau sistem yang kompleks melalui penggunaan sejumlah besar sensor yang terdistribusi di wilayah yang luas. Sensor-sensor ini berkomunikasi dengan satu sama lain secara nirkabel dan mentransfer data ke server atau *gateway* untuk diproses dan dianalisis. WSN memiliki banyak aplikasi, termasuk pemantauan lingkungan, kesehatan, pertanian, dan industri[17][18].



Gambar 1. *Wireless Sensor Network*

D. Baterai *Lithium-Ion*

Baterai *Lithium-Ion* merupakan jenis baterai yang digunakan dalam sistem pengisian baterai pada lampu jalan umum tenaga surya. Baterai ini dipilih karena memiliki keunggulan dalam hal kapasitas dan kepadatan daya yang tinggi, serta umur pakai yang cukup lama[19].

E. *State of Charge* (SoC)

Dalam konteks sistem manajemen baterai, *state of charge* (SoC) adalah ukuran seberapa banyak energi yang tersimpan di dalam baterai pada suatu waktu tertentu, dinyatakan dalam persentase dari kapasitas total baterai. SoC sangat penting untuk mengetahui berapa lama baterai dapat bertahan sebelum perlu diisi ulang dan untuk menghindari pengisian atau pengosongan baterai yang berlebihan yang dapat merusak baterai dan mengurangi masa pakainya. Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode *Coulomb counting*, yang menghitung jumlah muatan listrik yang mengalir masuk atau keluar dari baterai untuk menghitung SoC. Metode ini memerlukan kalibrasi awal dan perhitungan yang cermat untuk mengurangi kesalahan dalam pengukuran SOC [13]. Secara umum rumus persamaan dari nilai SoC sebagai berikut:

$$SoC(t) = \frac{\mu(t)}{\mu_0} \quad (2)$$

Keterangan:

SoC(t) : persentase baterai (%)

$\mu(t)$: daya tersimpan dalam baterai pada waktu instan (Ah)

μ_0 : kapasitas normal baterai (Ah)

METODOLOGI PENELITIAN

A Metode Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun *wireless sensor network* untuk *battery management system* pada penerangan jalan umum tenaga surya enerangan jalan umum tenaga surya. Tahapan yang dilakukan meliputi tiga bagian yaitu input, proses dan output. Input pada sistem ini antara lain: input sensor arus, tegangan dan suhu pada sensor arus dan tegangan WCS1800 dan DS18B20 kemudian *output relay* MCB. Tahap proses penelitian ini dilakukan oleh mikrokontroler ESP8266 .



Gambar 2. Diagram Blok

Metode yang digunakan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme penyimpanan nilai tegangan, arus, serta suhu hasil pemantauan, dan untuk mendeteksi kesehatan baterai pada baterai Lithium-Ion. Pengujian ini digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan dari sistem yang telah dirancang. Dalam penelitian ini, dilakukan implementasi WSN pada sistem penerangan jalan umum yang menggunakan tenaga surya. Pengaturan sensor pada setiap lampu penerangan memungkinkan pengumpulan data tegangan, arus, dan suhu secara *real-time*. Sistem ini dirancang untuk memantau kesehatan baterai secara terus-menerus.

Tabel 1. Data Kalibrasi

No.	Waktu	Status Lampu	Status Switch	Baterai		Suhu
				Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	
13	5:27:05 PM	ON	ON	4,22	11,17	30
14	6:26:59 PM	ON	ON	4,18	10,85	29
15	7:26:59 PM	ON	ON	4,2	10,82	28
16	8:26:59 PM	ON	ON	4,2	10,74	29
17	9:26:59 PM	ON	ON	4,25	10,07	29
18	10:26:59 PM	ON	ON	3,01	11,03	30
19	11:26:59 PM	ON	ON	3,04	11,02	30
20	12:26:59 PM	ON	ON	3,02	11,02	30
21	1:26:59 AM	ON	ON	3,02	11,02	29
22	2:26:59 AM	ON	ON	3,02	11,02	29
23	3:26:59 AM	ON	ON	3,02	11,02	29
Rata-Rata				2,99	11,55	30.65

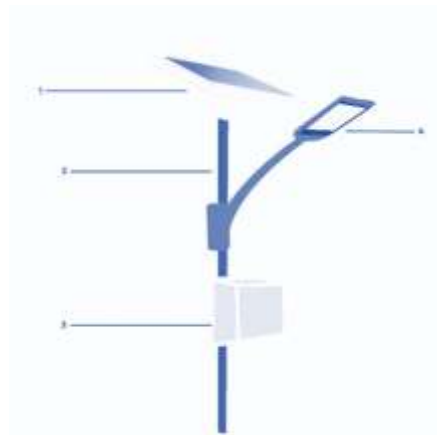
Data yang diambil dari PJUTS selama 11 jam melibatkan pengukuran arus dan tegangan dengan waktu penundaan sekitar 30 menit untuk setiap pengukuran. Setiap interval 30 menit, *Wireless Sensor Network* (WSN) akan mengirimkan hasil pengukuran ke *web* kontrol yang telah disiapkan. *web* kontrol menerima informasi dari WSN yang mencakup hasil pengukuran arus, tegangan, suhu, dan kesehatan baterai. Semua nilai pengukuran ditampilkan dengan akurasi maksimal hingga 2 angka di belakang koma. Adapun status dan relay dalam kondisi *off* di karenakan delay pada *web*.

B. Perancangan Alat

Pada perancangan alat ini berupa implementasi asli dari tiang penerangan jalan umum tenaga surya.

Keterangan :

1. Panel surya
2. Tiang lampu
3. *Box* Panel
4. Lampu



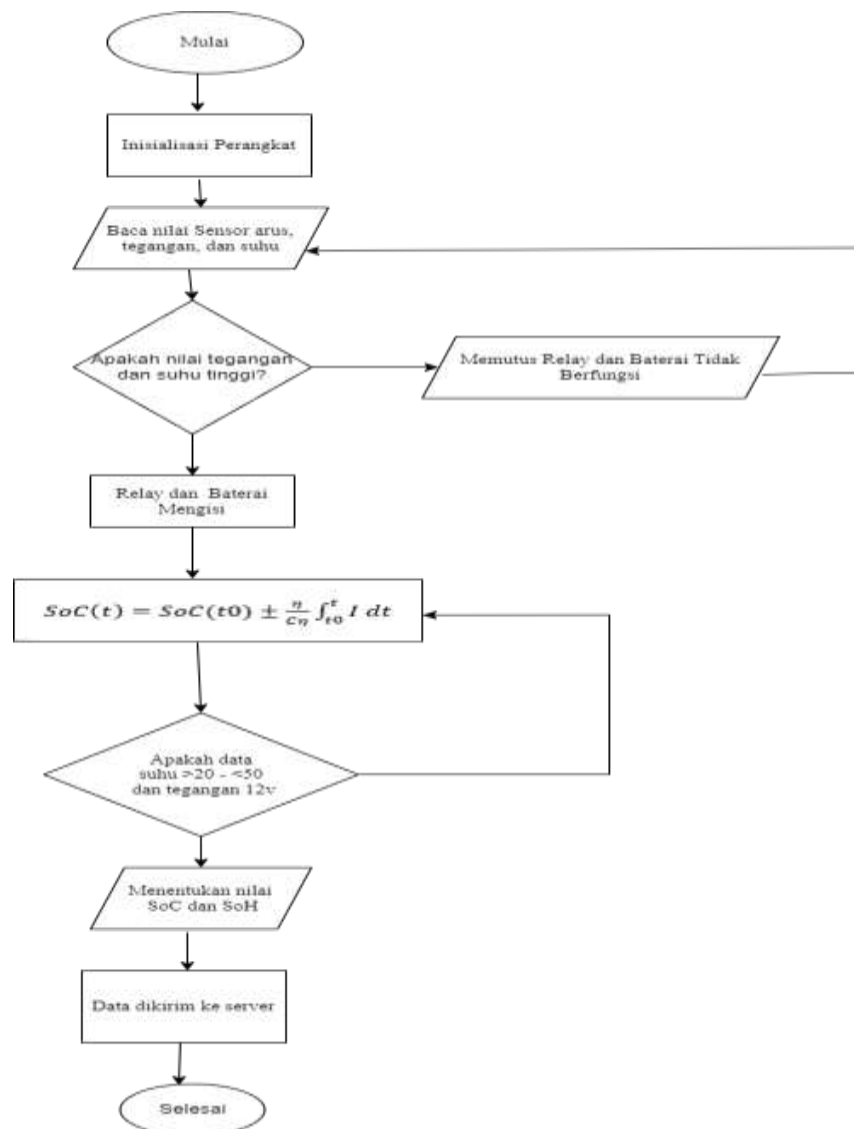
Gambar 3. Ilustrasi PJUTS

C. Perancangan Sistem

Pada tahap ini *flowchart* sistem dimulai dengan inisialisasi perangkat dan pembacaan nilai sensor arus, tegangan, dan suhu. Kemudian sistem melakukan pengecekan terhadap nilai tegangan dan suhu melalui sensor WCS1800 dan sensor DS18B20. Sensor-sensor tersebut memiliki fungsi masing-masing, di mana sensor WCS1800 digunakan untuk mengukur tegangan dan arus pada baterai, sedangkan sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur temperatur pada baterai, apabila nilainya melebihi batas yang telah ditentukan dengan nilai batas temperatur maksimal 60°C maka sistem *relay* akan memutus daya dan baterai tidak akan mengisi [14].

Jika nilai tegangan dan suhu dalam batas normal, maka sistem *relay* akan aktif dan baterai akan mulai mengisi. Selanjutnya, sistem akan melakukan perhitungan *coulomb* untuk menentukan kapasitas baterai yang dapat digunakan sebagai referensi dalam proses pengisian baterai selanjutnya. Jika data perhitungan *coulomb* tidak sesuai, maka sistem akan memutuskan proses pengisian baterai dan *looping* akan dimulai dari pembacaan sensor hingga data yang dihasilkan sesuai. Namun jika data yang dihasilkan sesuai, maka baterai akan melakukan proses pengisian dan dilakukan

penentuan nilai *State of Charge* (SoC) dan *State of Health* (SoH). Data dari nilai SoC dan SoH akan digunakan untuk menampilkan sistem manajemen baterai, yang akan dikirimkan ke server melalui internet. Data tersebut dapat ditampilkan menggunakan web server untuk memudahkan pengguna dalam memantau kesehatan baterai.



Gambar 4. Diagram alir PJUTS

HASIL DAN DISKUSI

A. Perhitungan *State of Health* (SoH)

Berdasarkan hasil perhitungan MAE dan MSE selisih keduanya memiliki nilai yang sangat kecil dari nilai tegangan yang seharusnya. Dapat disimpulkan bahwa perhitungan web dan manual avometer memiliki selisih sedikit keduanya memiliki akurasi pengukuran yang bagus.

Berdasarkan hasil pengukuran diatas dari rata-rata nilai arus dan tegangan dapat diperoleh persen kesehatan baterai yang dilihat setiap 24 jam.

$$SoH = \frac{\text{kapasitas baterai saat ini}}{\text{kapasitas maksimum baterai}} \times 100\% \quad (3)$$

$$SoH = \frac{11.79}{12.6} \times 100\%$$

$$SoH = 93.56\%$$

Dari hasil perhitungan presentase kesehatan baterai, kondisi baterai tidak 100%. Hal ini disebabkan tidak stabilnya arus yang mengalir dari baterai menuju beban. Besar arus mempengaruhi tegangan baterai. Pada titik maksimum baterai yaitu 12.6 Volt baterai 55 yang dikatakan sehat jika mencapai titik maksimum. Dengan rata-rata 11.79 Volt baterai masih dalam kondisi aman.

B. Pengujian *State of Charge*

Nilai SoC (*State of Charge*) berdasarkan hasil rata-rata dari pengukuran yang dapat dilihat pada web sistem. SoC mengukur perbandingan antara muatan sistem dan kapasitas maksimum baterai, lalu mengubahnya menjadi persentase. Penting untuk dicatat bahwa nilai (Q) dapat diukur dalam satuan ampere-hour (Ah) atau *coulomb*, bergantung pada sistem pengukuran muatan baterai. Dengan menggunakan rumus (2)

$$SoC(t) = \frac{2.01}{36}$$

$$SoC(t) = 0.05$$

Sedangkan untuk perhitungan persentase SoC sendiri dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SoC(\%) = \frac{Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{total}}} \times 100\%$$

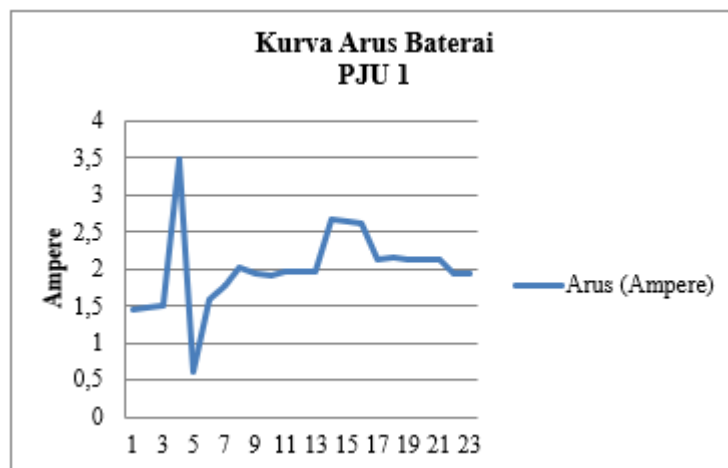
$$SoC(\%) = \frac{2.01}{36} \times 100\%$$

$$SoC(\%) = 5\%$$

Dari hasil perhitungan diatas, dapat diketahui kesehatan baterai menurun 5%, hal ini dikarenakan terjadinya penurunan arus dan tegangan pada waktu tertentu.

C. Pengujian Sensor Arus

Kurva arus baterai pada PJUTS 1 dari hasil pengukuran alat memperlihatkan bahwa arus yang mengalir tidak stabil dan naik turun hal ini disebabkan oleh SoH dan SoC dari baterai yang tidak menentu, sehingga arus yang dihasilkan tidak memiliki keteraturan nilai. Namun arus akan cenderung lebih besar ketika lampu dalam keadaan menyala. Arus yang mengalir tidak stabil dan mengalami fluktuasi. Ini disebabkan oleh tingkat *State of Health* (SoH) dan *State of Charge* (SoC) baterai yang tidak konsisten. SoH mengukur kondisi fisik dan kesehatan baterai, sementara SoC mengukur tingkat pengisian baterai.



Gambar 5. Kurva Arus Baterai

D. Pengujian Keseluruhan

Hasil pengukuran kedua PJUTS memiliki selisaih sekitar 2 % pada percobaan pertama, kondisi kesehatan berubah setiap waktu karena ketidakstabilan ini presentase kesehatan baterai yang dihasilkan bervariasi. Namun dengan presentase yang dihasilkan pada percobaan pertama dapat dikatakan bahwa kondisi baterai baik-baik saja atau aman.

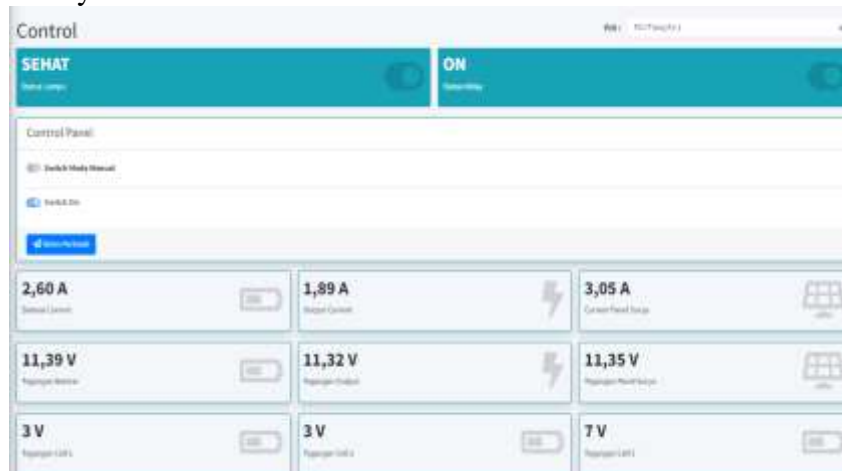
Tabel 2. Data Hasil Pengujian Keseluruhan

No.	Baterai Sehat (V)	Tegangan (Avo)	Tegangan (WEB)	MAE		MSE	
				Tegangan (Avo)	Tegangan (WEB)	Tegangan (Avo)	Tegangan (WEB)
1	12	11,81	11,82	0,19	0,18	0,04	0,03
2	12	11,83	11,85	0,17	0,15	0,03	0,02
3	12	11,79	11,93	0,21	0,07	0,04	0,00
4	12	11,79	11,88	0,21	0,12	0,04	0,01
5	12	11,84	11,86	0,16	0,14	0,03	0,02
6	12	11,81	11,83	0,19	0,17	0,04	0,03
7	12	11,54	11,59	0,46	0,41	0,21	0,17
8	12	11,41	11,42	0,59	0,58	0,35	0,34
9	12	11,82	11,86	0,18	0,14	0,03	0,02
10	12	11,7	11,77	0,3	0,23	0,09	0,05
11	12	11,67	11,68	0,33	0,32	0,11	0,10
Rata-rata		11,73	11,77	0,27	0,23	0,09	0,07

E. Pengujian Tampilan WEB

Web Kontrol ini menampilkan beberapa variabel yang memberikan informasi mengenai arus masuk dan keluar, tegangan masuk dan tegangan keluar, suhu baterai dan kesehatan baterai yang dihasilkan oleh pengukuran alat dan dikirim oleh WSN.

Dibawah ini merupakan tampilan web kontrol untuk melihat kondisi lampu, baterai, dan panel surya.



Gambar 6. Tampilan WEB

KESIMPULAN

Perancangan *Wireless Sensor Network* untuk mendeteksi kesehatan baterai pada baterai Lithium-Ion yang tersusun oleh rangkaian komponen sehingga menghasilkan energi untuk dapat menyalakan lampu. Dengan *Battery Management System* (BMS) yang digunakan dalam PJUTS ini, dapat memonitoring kinerja sistem untuk menghindari kerusakan dan kegagalan pada fungsi baterai. Sistem ini dapat menyimpan nilai arus, tegangan, dan temperatur baterai yang terintegrasi dengan perangkat android melalui komunikasi *Internet of Things* dengan menggunakan perangkat NodeMCU, sensor WCS1800, sensor DSB1820 dan 4 buah baterai Lithium-Ion 12V dengan menggunakan aplikasi *IoT* di *smartphone* dan perhitungan Coulomb. Nilai *state of charge* dan *state of health* didapatkan dengan menggunakan 2 node dengan spesifikasi per node memiliki beban lampu sebanyak 4 buah dengan ukuran 50 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Timotius, J. W. Simatupang, M. Andriani, and ..., "Analisis Potensi Energi Matahari Menjadi Energi Listrik Di Indonesia: Proyeksi Dan Peramalan Kapasitas Terpasang Plts Dengan ...," ... *J. Tek. Elektro*, vol. 25, no. 2, pp. 183–195, 2023, [Online]. Available: <https://journal.untar.ac.id/index.php/tesla/article/view/25831%0Ahttps://journal.untar.ac.id/index.php/tesla/article/download/25831/16544>.
- [2] A. Publikasi *et al.*, "Implementasi Sensor LDR Pada Prototipe Sistem Tracking Dual Axis Untuk Deteksi Arah Sinar Matahari Pada Sel Surya Implementation Of The LDR Sensor In The Dual Axis Tracking System Prototype For Detecting The Direction Of Sunlight On Solar Cells Jurusan El," vol. 1, no. 5, 2023.
- [3] K. Ranabhat, L. Patrikeev, A. A. evna Revina, K. Andrianov, V. Lapshinsky, and E. Sofronova, "An introduction to solar cell technology," *J. Appl. Eng. Sci.*, vol. 14, no. 4, pp. 481–491, 2016, doi: 10.5937/jaes14-10879.
- [4] G. Developer Training Team, "Android Developer Fundamentals Course-Concept Reference," *CIREN - Open Access Proc. J.*, vol. 2019, pp. 6–457, 2019.
- [5] F. Kartal, "New Battery Management System and its Application," pp. 1–5, doi:

- 10.31031/EME.2021.03.000574.
- [6] B. Ashok Kumar, P. Seshadri, S. Senthilrani, and T. S. Bagavat Perumal, "Modeling of Battery Management for Standalone PV System," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2115, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2115/1/012027.
 - [7] P. Pal, K. R. Devabalaji, and S. Priyadarshini, "Design of battery management system for residential applications," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 68, no. 3, pp. 12–17, 2020, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V68I3P203S.
 - [8] A. R. Afif, B. S. Aprillia, and W. Priharti, "Design and Implementation of Battery Management System for Portable Solar Panel with Coulomb Counting Method," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 771, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/771/1/012005.
 - [9] P. D. Holey, "Design of BMS for Lithium-Ion Battery Used for P.V Solar System," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 4, pp. 3050–3053, 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.50844.
 - [10] R. Setiawibawa, "The Influence Of Competence and Compensation On The Performance Of Army Polytechnic Teaching Staff: Mediated By Work Motivation," vol. 1, no. 2, 2023.
 - [11] M. Ridwan, F. A. Firmanto, and I. Setyabudi, "Rancang Bangun Engine Management System (EMS) pada Troopers Guard Robot 25 (TGR-25)," *J. Otoranpur*, vol. 2, no. Mei, pp. 49–56, 2021, doi: 10.54317/oto.v2ime1.163.
 - [12] D. Spiers, "Batteries in PV Systems," *Pract. Handb. Photovoltaics Fundam. Appl.*, pp. 587–631, 2003, doi: 10.1016/B978-185617390-2/50025-8.
 - [13] R. C. Ananthraj and A. Ghosh, "Battery Management System in Electric Vehicle," *2021 Int. Conf. Nascent Technol. Eng. ICNET 2021 - Proc.*, vol. 9, no. 05, pp. 605–607, 2021, doi: 10.1109/ICNTE51185.2021.9487762.
 - [14] A. E. Mulyono, T. Mustika, H. P. Sulaikan, and E. Kartini, "Development of battery performance data acquisition system for monitoring battery performance inside solar cell system," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 432, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/432/1/012057.
 - [15] "Perancangan Hardware State-Of-Charge Estimator untuk Baterai Lithium-Ion Berbasis Sensor Tegangan, Arus, dan Temperatur Menggunakan Neural Network pada Sistem Tertanam MUHAMMAD RAFLI, Ir. Oyas Wahyunggoro, MT., Ph.D.; Dzuhri Radityo Utomo, , ST, M.E., Ph.," p. 2022, 2022.
 - [16] A. A. Ghaffar, "Perangkat Load Cell," vol. 20, pp. 1–23, 2016.
 - [17] D. Rahmawati, M. Ulum, and H. Setiawan, "Design of Android Base Fuzzy Wireles Sensor Network for mini Smart Green House," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1028, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1028/1/012051.
 - [18] D. S. Ibrahim, A. F. Mahdi, and Q. M. Yas, "Challenges and Issues for Wireless Sensor Networks : A Survey," *J. Glob. Sci. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 1079–1097, 2021.
 - [19] A. Joewono, R. Sitepu, and P. R. Angka, "Rancang Bangun Sistem Lampu Penerangan Jalan Umum Terintegrasi Dengan Battery Lithium," *J. Elektro*, vol. 12, pp. 33–42, 2019.