

DESAIN SIRKUIT BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS) ALTERNATIF DENGAN FUNGSI OVER-DISCHARGE PROTECTION DAN OVERCHARGE PROTECTION

¹Agus Nurcahyo, ²Sabri Alimi

¹⁾Jurusan Teknik Elektro
Sekolah Tinggi Teknologi
Kedirgantaraan
agusnmail@gmail.com

²⁾Jurusan Teknik Elektro
Sekolah Tinggi Teknologi
Kedirgantaraan
sabri.alimi@sttkd.ac.id

Article history:

Received 1th of December 2024

Revised 12th of December 2024

Accepted 27th of December 2024

Abstract

The increasing demand for safe and efficient batteries for renewable energy storage calls for the development of reliable and innovative Battery Management Systems (BMS). One of the main challenges in designing a BMS is creating a system that is not only effective but also easy to build using widely available components. This research aims to produce a BMS circuit design that can contribute to the development of BMS technology in society, with a focus on overcharge and over-discharge protection functions. In the proposed design, the discharge control switch will interrupt the power flow from the battery to the load when any battery cell experiences over-discharge. Similarly, the charge control switch will disconnect the charging power from the charger to the battery when a cell experiences overcharge, and the charging will resume if all battery cells are within safe conditions. This design aims to safety in battery usage across various applications, while providing an easily implementable BMS solution that can be widely adopted by society.

Keywords: Battery Management System (BMS), Innovative BMS Solutions, Overcharge Protection, Over-discharge Protection, Renewable Energy Storage.

Pendahuluan

Beberapa tahun terakhir, teknologi baterai telah berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan untuk penyimpanan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu elemen penting dalam sistem baterai adalah Battery Management System (BMS), yang bertanggung jawab untuk mengelola dan mengawasi kondisi operasional baterai, serta memastikan keamanannya. BMS memiliki berbagai fungsi kritis, seperti pemantauan tegangan, arus, suhu, serta perlindungan terhadap kondisi berbahaya seperti overcharge dan over-discharge. Fungsi-fungsi ini sangat penting untuk meningkatkan umur baterai dan mencegah kerusakan atau kecelakaan [1]. Sistem manajemen baterai atau Battery Management System (BMS) merupakan komponen esensial dalam sistem penyimpanan energi berbasis baterai yang berfungsi untuk mengoptimalkan kinerja serta memastikan keamanan baterai selama operasi. Hasil dari analisis proses pengisian dan pengosongan baterai LiFePO₄, menunjukkan pentingnya pengendalian yang tepat untuk memastikan keamanan dan memperpanjang umur baterai [2].

BMS dengan fitur pemutusan otomatis untuk baterai tipe LiFePO₄ pada aplikasi powerbank dapat mencegah kerusakan akibat kondisi pengisian dan pengosongan yang tidak aman [3]. Dalam aplikasi skala besar seperti Battery Energy Storage System (BESS) dan kendaraan listrik, BMS berperan dalam pemantauan status sel baterai, pengelolaan muatan (State of Charge, SOC), serta perlindungan dari kondisi berbahaya seperti pengisian berlebih (overcharge) dan pengosongan berlebih (over-discharge) [4] [5].

Dalam pengoperasiannya, baterai mengalami berbagai tantangan, termasuk degradasi kapasitas, ketidakseimbangan tegangan antar sel, serta risiko panas berlebih yang dapat memicu kegagalan sistem. Oleh karena itu, pengembangan BMS yang efektif dengan fungsi perlindungan terhadap overcharge dan over-discharge menjadi hal yang krusial untuk meningkatkan efisiensi dan masa pakai baterai. Selain itu, tren menuju penggunaan kendaraan listrik dan penyimpanan energi berkelanjutan menuntut pengembangan teknologi BMS yang lebih canggih guna mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) [6].

Tantangan utama dalam desain BMS adalah mengelola berbagai parameter secara simultan, termasuk perlindungan terhadap overcharge dan over-discharge, untuk memastikan baterai berfungsi dalam rentang yang aman dan optimal [7]. Baterai yang tidak dilindungi dengan baik terhadap kondisi tersebut dapat mengalami degradasi yang cepat, yang mengarah pada penurunan kapasitas dan potensi kebakaran atau ledakan. Oleh karena itu, pengembangan BMS yang dapat memantau secara terus-menerus dan mengimplementasikan mekanisme proteksi yang efektif sangat penting untuk mencegah terjadinya kerusakan pada baterai [8].

Desain BMS yang optimal harus dapat menyesuaikan dengan kebutuhan khusus dari baterai yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap voltase dan arus. Oleh karena itu, sistem manajemen baterai harus mampu mendeteksi dan merespons dengan cepat kondisi overcharge dan over-discharge untuk menghindari kerusakan pada baterai [9]. Oleh karena itu menjadi penting desain perangkat keras BMS yang dapat mengintegrasikan berbagai fungsi proteksi, serta memastikan kestabilan dan keandalan jangka panjang baterai dalam berbagai kondisi operasional [10].

Untuk mencapai kinerja yang optimal, BMS juga memerlukan pendekatan kontrol yang canggih. penggunaan model dan simulasi numerik untuk merancang kontrol yang lebih efisien dan akurat pada BMS, dengan fokus pada dinamika pengisian dan pengosongan baterai. Pendekatan ini dapat membantu merancang sistem yang lebih responsif terhadap perubahan kondisi dan dapat mengoptimalkan pengelolaan daya dalam sistem penyimpanan energi berbasis baterai [11].

Overcharge protection dan over-discharge protection merupakan dua fitur utama yang berperan dalam menjaga kestabilan dan keselamatan baterai. Overcharge protection bertujuan untuk menghindari pengisian berlebih yang dapat merusak elektrokimia baterai dan menyebabkan risiko kebakaran, sementara over-discharge protection melindungi baterai dari pelepasan daya berlebih yang dapat menyebabkan kerusakan permanen pada sel baterai [12]. Oleh karena itu, desain BMS yang efektif harus dapat mengintegrasikan kedua fungsi ini dengan cara yang efisien dan terjangkau. Pengembangan BMS adalah menciptakan sistem yang dapat diimplementasikan dengan komponen yang mudah didapat dan dengan biaya yang efisien, namun tetap menjaga kinerja dan keamanannya.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sirkuit BMS alternatif yang mengintegrasikan fungsi overcharge protection dan over-discharge protection, dengan mempertimbangkan faktor-faktor praktis seperti kemudahan pembangunannya dan keterjangkauan komponen. Desain yang diusulkan diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan teknologi BMS yang dapat diterapkan secara luas dalam berbagai sektor industri, termasuk kendaraan listrik, sistem penyimpanan energi terbarukan, dan perangkat elektronik portabel [13].

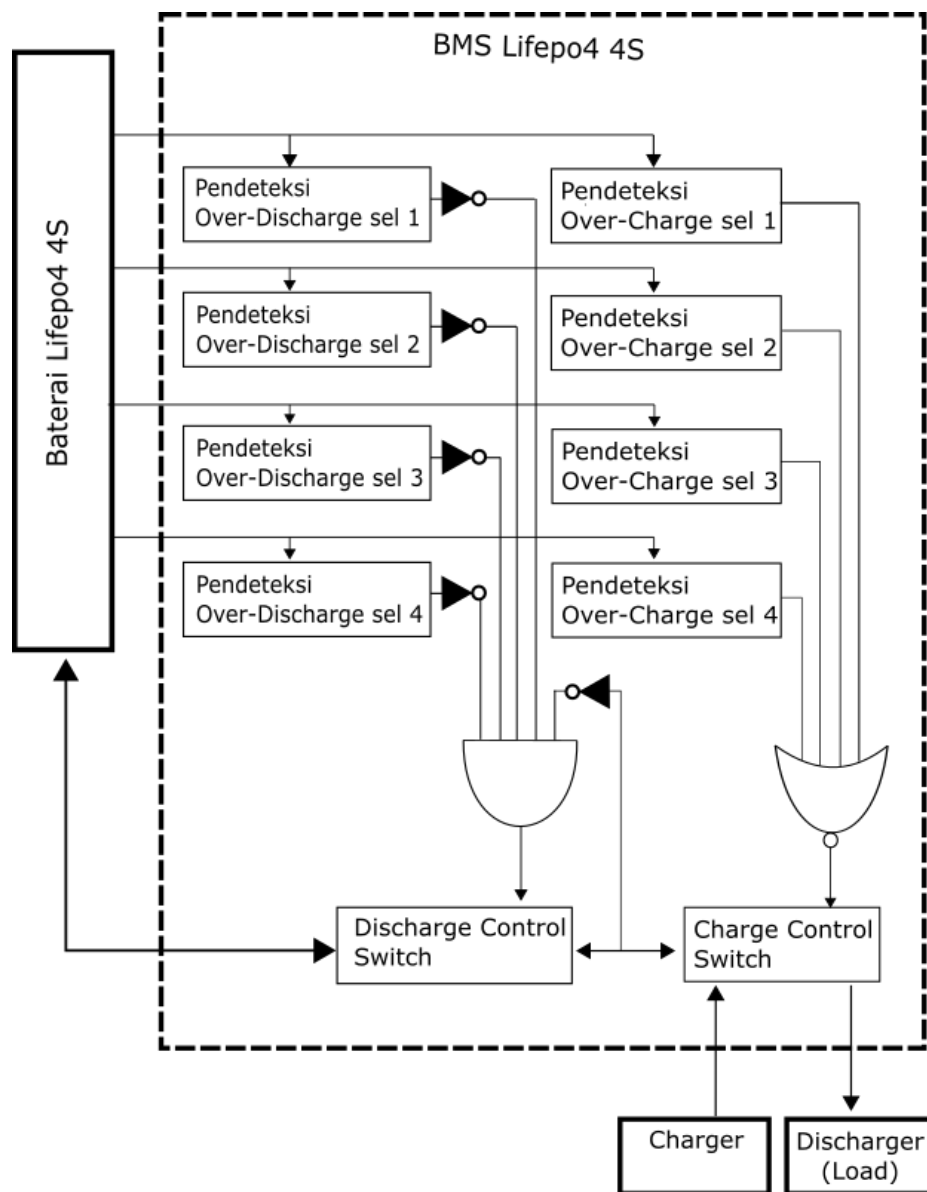
Selain itu, pengembangan BMS alternatif ini juga diharapkan menjadi langkah penting dalam mendukung kemajuan teknologi penyimpanan energi yang lebih aman dan efisien. Dengan pemilihan komponen yang tepat serta integrasi sistem yang optimal, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan yang ada dan memberikan solusi yang lebih terjangkau dan dapat diterapkan dalam skala yang lebih luas [14]. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa pengelolaan baterai yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dan performa baterai dalam aplikasi tertentu, termasuk pada sistem pengisian tenaga surya dan stasiun daya portabel [15]. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut dalam desain dan implementasi sistem manajemen baterai yang unggul dan berkelanjutan di masa depan.

Mempertimbangkan semakin meningkatnya permintaan terhadap baterai untuk penyimpanan energi terbarukan yang aman dan efisien menuntut adanya sistem manajemen baterai (BMS) yang andal dan inovatif. Salah satu tantangan utama dalam pengembangan BMS adalah merancang sistem yang tidak hanya efektif, tetapi juga mudah dibangun dengan komponen yang mudah diperoleh. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan rancangan sirkuit BMS yang dapat memberikan kontribusi signifikan bagi perkembangan teknologi BMS yang dapat diadopsi oleh masyarakat luas.

Dengan adanya desain BMS alternatif yang lebih terjangkau, diharapkan kemajuan dalam teknologi baterai dan penyimpanan energi dapat semakin berkembang. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan lebih lanjut dalam desain dan implementasi sistem manajemen baterai yang unggul, berkelanjutan, dan sesuai dengan kebutuhan industri maupun pengguna akhir.

Metode Penelitian

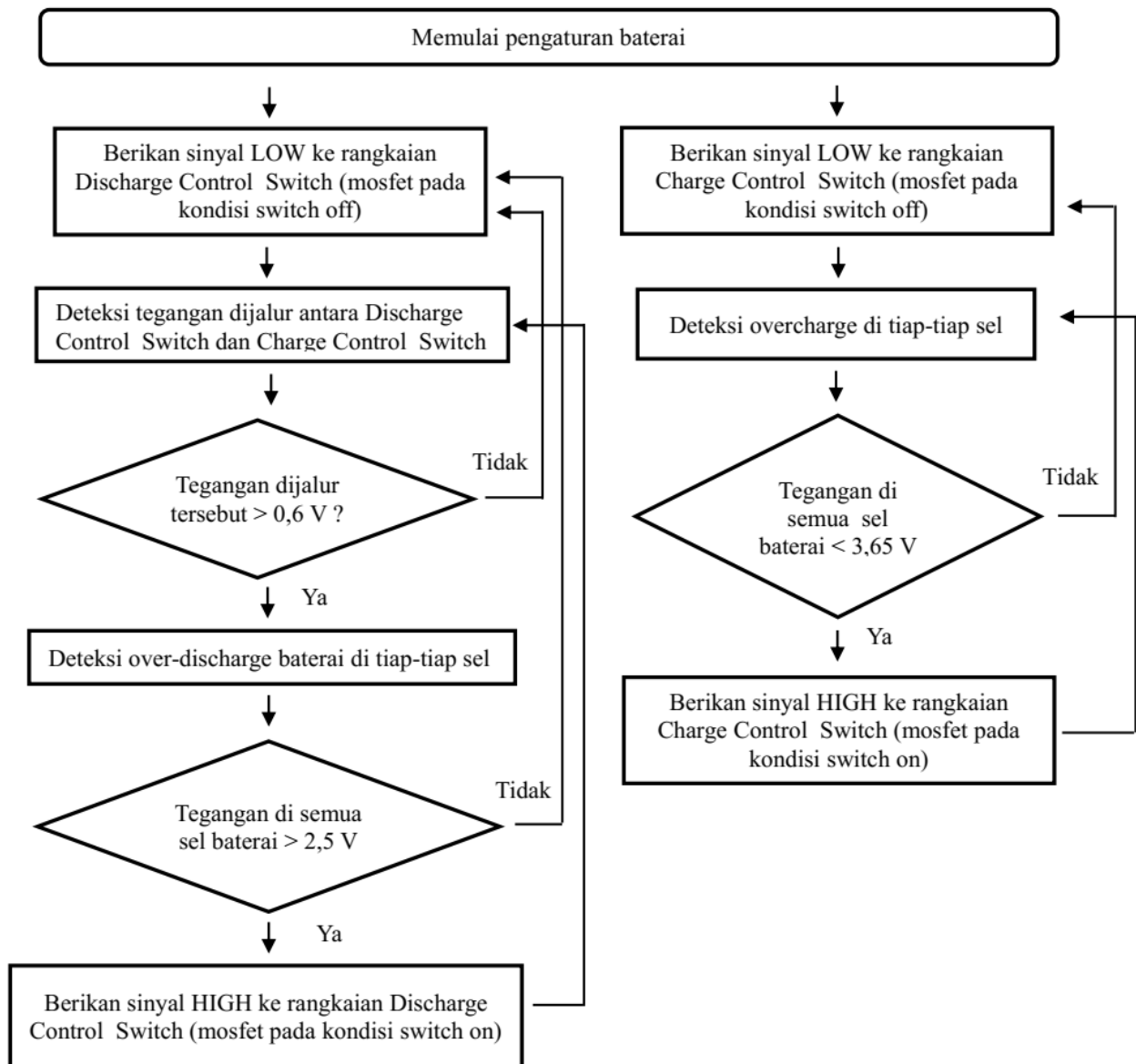
Metode penelitian yang digunakan berupa eksperimen. Desain alternatif BMS dengan fungsi overcharge protection dan over-discharge protection dapat dilihat pada diagram blok gambar 1. Desain alternatif BMS di eksperimen penelitian ini terdiri dari pendeteksi overcharge, pendeteksi over-discharge, sirkuit yang berfungsi sebagai gerbang AND dan NOR, sirkuit discharge control switch, dan sirkuit charge control switch.



Gambar 1. Diagram blok BMS alternatif

Fungsi dari pendeteksi over-discharge adalah mendeteksi adanya kondisi kelebihan pelepasan muatan DC di tiap-tiap sel baterai. Pendeteksi overcharge memiliki fungsi mendeteksi adanya kondisi kelebihan pemuatan arus DC di tiap-tiap sel baterai. Sirkuit dengan fungsi gerbang AND memiliki

input inverting dari pendeteksi over-discharge sel baterai dan jalur di antara sirkuit discharge control switch dan sirkuit charge control switch. Output dari gerbang AND berupa sinyal HIGH yang menunjukkan semua sel baterai dalam kondisi tidak over-discharge, dan output sinyal LOW yang menunjukkan terdapat sel baterai yang mencapai over-discharge. Sirkuit dengan fungsi gerbang NOR memiliki input dari pendeteksi overcharge sel baterai. Output dari gerbang NOR berupa sinyal HIGH yang menandakan sel baterai dalam kondisi tidak overcharge, dan output sinyal LOW yang menunjukkan terdapat sel baterai yang mencapai overcharge. Sirkuit discharge control switch berfungsi untuk memutus arus DC dari baterai ke output beban ketika terdapat sinyal yang menunjukkan over-discharge dengan tetap melewati arus DC dari output BMS ke baterai jika terdapat kondisi pemuatan arus DC ke baterai dari charger. Sirkuit charge control switch berfungsi untuk memutus arus DC dari output BMS (charger) ke baterai ketika terdapat sinyal yang menunjukkan overcharge dengan tetap melewati arus DC dari baterai ke output beban BMS jika terdapat kondisi pelepasan muatan arus DC dari baterai ke output BMS yang terhubung ke beban. Untuk memudahkan memahami cara kerja BMS alternatif ini dapat dilihat diagram alir pada gambar 2.

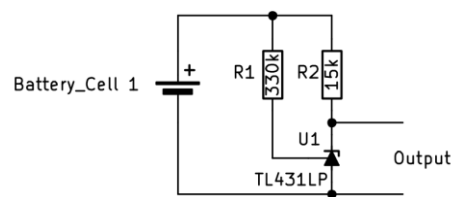


Gambar 2. Diagram alir cara kerja BMS alternatif

Hasil dan Pembahasan

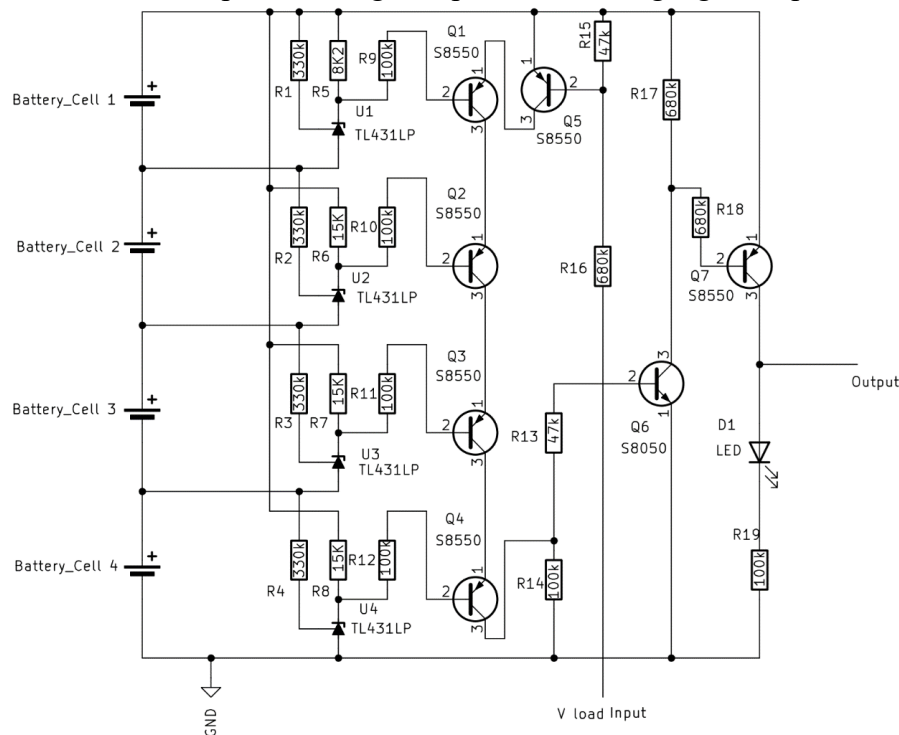
Untuk merealisasikan BMS alternatif ini kemudian dilanjutkan dengan rancangan sirkuit elektroniknya, sirkuit elektronika dari BMS ini terdiri dari enam bagian utama berupa sirkuit pendeteksi overcharge, sirkuit pendeteksi over-discharge, sirkuit yang dapat berfungsi sebagai gerbang AND dan NOR, sirkuit discharge control switch, dan sirkuit charge control switch.

Sirkuit pendeteksi over-discharge memiliki fungsi mendeteksi pelepasan muatan arus DC dibaterai dengan cara mengukur tegangan di tiap-tiap sel baterai. Batas tegangan yang di gunakan untuk menunjukkan over-discharge berada pada nilai dibawah 2,5 V. Untuk mendeteksi tegangan tersebut dapat menggunakan TL431 seperti gambar 3. Arus DC akan mengalir pada resistor R2 ketika tegangan sel baterai terdeteksi diatas 2,5 V sehingga memberikan sinyal LOW pada outputnya. Sebaliknya TL431 akan memblokir arus yang mengalir pada resistor R2 ketika tegangan sel baterai terdeteksi dibawah 2,5 V sehingga memberikan sinyal HIGH pada outputnya.



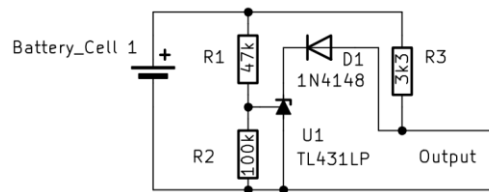
Gambar 3. Sirkuit pendeteksi over-discharge sel baterai.

Sirkuit gerbang AND dengan 5 input inverting yang terhubung ke sirkuit 4 pendeteksi over-discharge dan sel baterai dapat dilihat pada gambar 4. Sirkuit yang dapat berfungsi sebagai gerbang AND dengan 5 input inverting dapat dibangun dengan beberapa transistor, output sinyal gerbang ini digunakan untuk men-drive mosfet switching. Input inverting gerbang AND ini berupa 4 pendeteksi over-discharge sel baterai dan satu input inverting dari pendeteksian tegangan output ke beban.



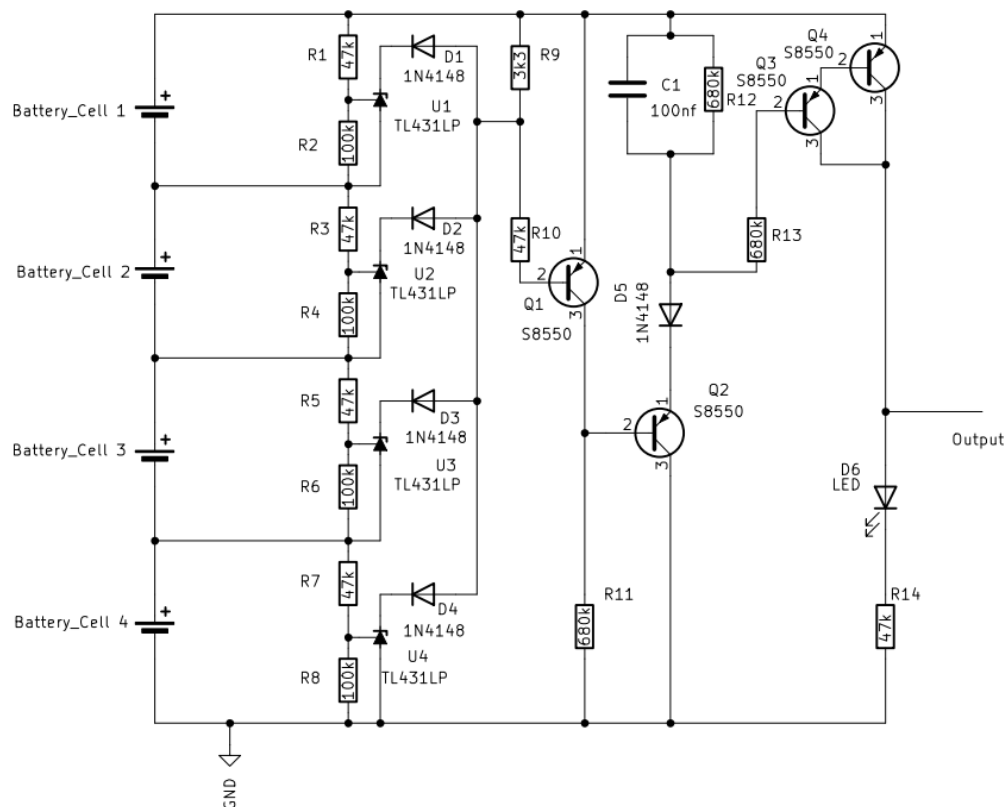
Gambar 4. Sirkuit gerbang AND dengan 5 input inverting yang terhubung ke sirkuit 4 pendeteksi over-discharge dan sel baterai.

Pendeteksi overcharge memiliki fungsi mendeteksi pemuatan arus DC di baterai dengan cara mengukur tegangan di tiap-tiap sel baterai. Batas tegangan yang digunakan untuk menunjukkan overcharge berada pada nilai diatas 3,65 V. Untuk mendeteksi tegangan tersebut dapat menggunakan TL431 yang terhubung ke resistor pembagi tegangan seperti yang terlihat pada gambar 5. Ketika tegangan sel baterai terdeteksi diatas 3,65 V, arus akan mengalir pada resistor R3 sehingga memberikan sinyal LOW pada outputnya. Sebaliknya TL431 akan memblokir arus yang mengalir pada resistor ketika tegangan sel baterai terdeteksi dibawah 3,65 V sehingga memberikan sinyal HIGH pada outputnya.



Gambar 5. Sirkuit untuk pendeteksian overcharge sel baterai.

Sirkuit yang dapat berfungsi sebagai gerbang NOR dengan 4 input inverting dapat di bangun dengan beberapa transistor, output sinyal gerbang ini digunakan untuk men-drive mosfet switching. Input gerbang NOR ini berupa 4 pendeteksi overcharge sel baterai. Sirkuit gerbang NOR dengan 4 input yang terhubung ke sirkuit 4 pendeteksi overcharge dan sel baterai dapat dilihat pada gambar 6.

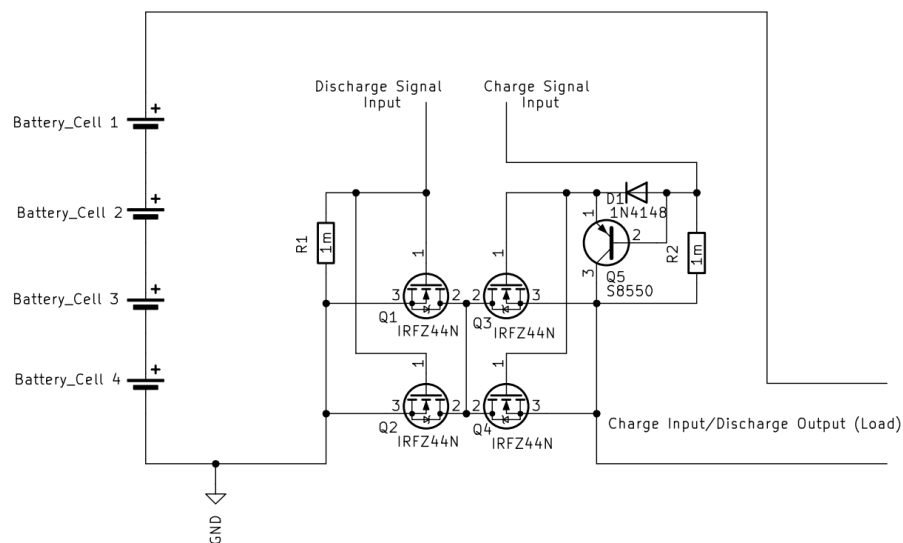


Gambar 6. Sirkuit gerbang NOR dengan 4 input yang terhubung ke sirkuit 4 pendeteksi overcharge dan sel baterai

Sirkuit discharge control switch dan sirkuit charge control switch dapat dibangun dengan menggunakan mosfet tipe N seperti yang terlihat pada gambar 7. Sirkuit discharge control switch berfungsi untuk memutus arus DC dari baterai ke output (beban) ketika di drive dengan sinyal LOW

dengan tetap melewati arus DC dari output BMS ke baterai jika terdapat kondisi pemuatan arus DC dari charger ke baterai. Sinyal LOW yang mendrive mosfet di sirkuit discharge control switch menyebabkan mosfet dalam kondisi switch off. Sebaliknya ketika mosfet discharge control switch di drive dengan sinyal HIGH, arus DC dari baterai akan mengalir ke beban atau terjadi pelepasan muatan arus DC didalam baterai. Sinyal HIGH yang mendrive mosfet di sirkuit discharge control switch menyebabkan mosfet dalam kondisi switch on.

Sirkuit charge control switch berfungsi untuk memutus arus DC dari charger ke baterai ketika di drive dengan sinyal LOW dengan tetap melewati arus DC dari baterai ke output BMS jika terdapat kondisi pelepasan arus DC dari baterai ke beban. Sinyal LOW yang mendrive mosfet di sirkuit charge control switch menyebabkan mosfet dalam kondisi switch off. Sebaliknya ketika mosfet charge control switch di drive dengan sinyal HIGH, arus DC dari charger akan mengalir ke baterai atau terjadi pemuatan arus DC ke dalam baterai. Sinyal HIGH yang mendrive mosfet di sirkuit charge control switch menyebabkan mosfet dalam kondisi switch on.

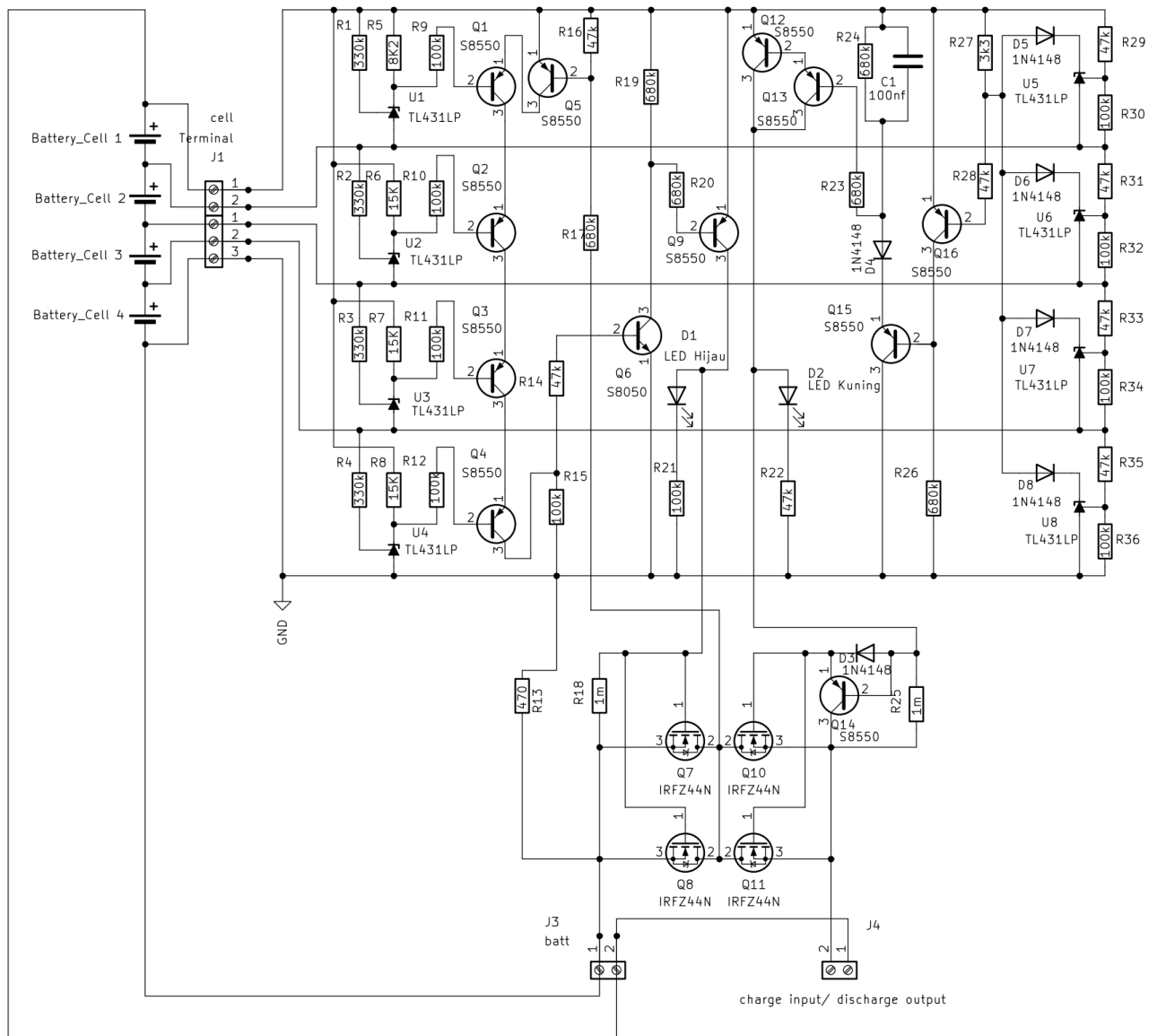


Gambar 7. Sirkuit discharge control switch dan sirkuit charge control switch

Skema yang sudah dijelaskan sebelumnya kemudian dijadikan rancangan PCB untuk membuat desain fisik sirkuit BMS. Pembuatan fisik dari sirkuit BMS seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 dengan penambahan heatsink yang terhubung secara fisik ke mosfet. Heatsink ini berfungsi untuk membuang panas yang timbul di mosfet terutama ketika BMS dipakai untuk charging maupun discharging diatas 100 watt. Skema lengkap dari sirkuit alternatif BMS dengan fungsi overcharge protection dan over-discharge protection yang terhubung dengan 4 sel baterai lifepo4 seri dapat dilihat pada gambar 9.

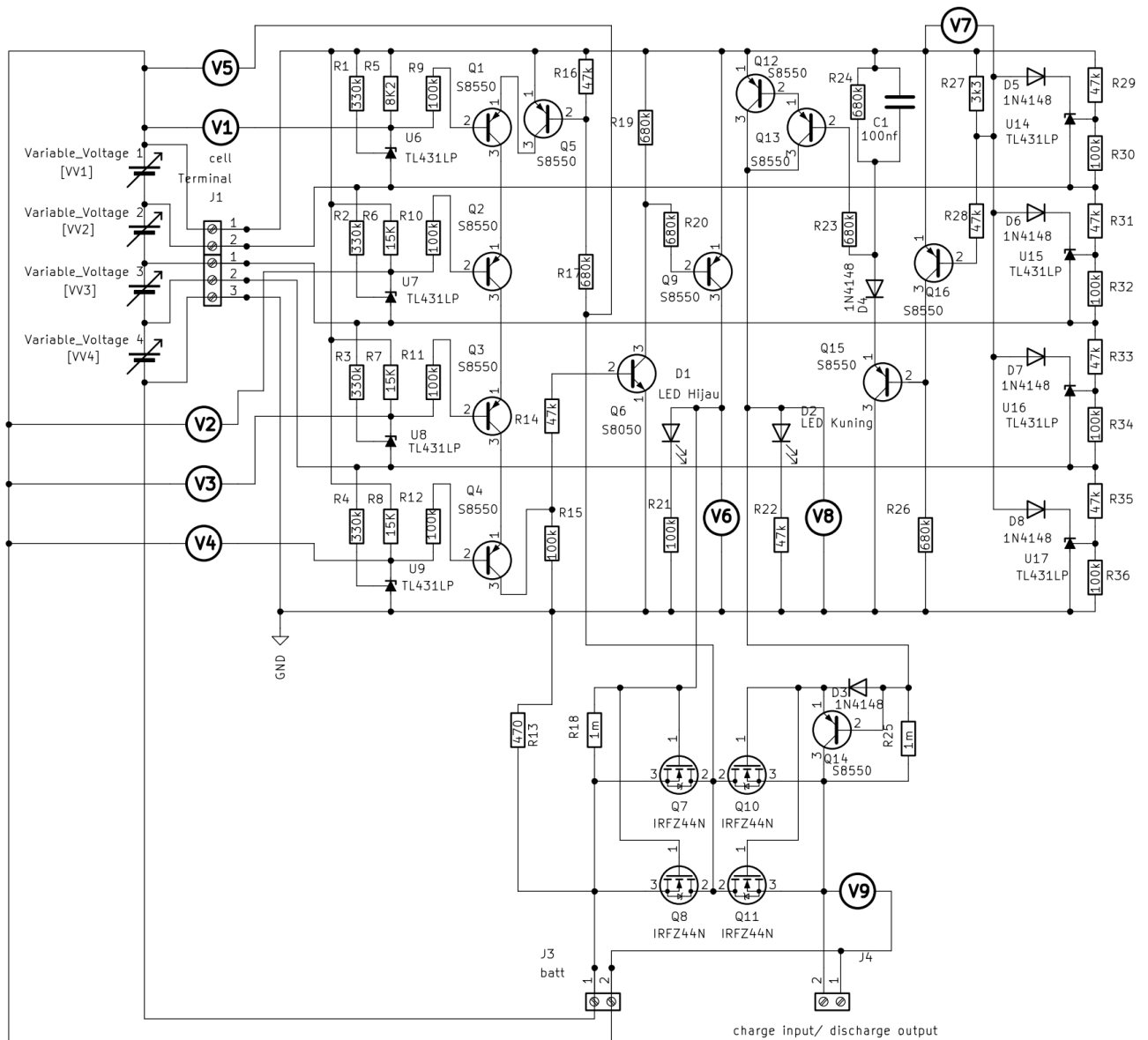


Gambar 8. Pembuatan fisik sirkuit alternatif BMS



Gambar 9. Sirkuit lengkap BMS alternatif dengan fungsi overcharge protection dan over-discharge protection

Skenario pengujian yang dilakukan dipenelitian ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Variable Voltage yang mewakili sel baterai di ubah nilai tegangannya untuk menguji BMS pada kondisi discharge, over-discharge, charge, maupun overcharge. Tegangan di V1 sampai V9 akan di ukur menggunakan voltmeter untuk mengetahui sinyal yang terbentuk di berbagai kondisi. Hasil pengukuran akan di sajikan melalui tabel.



Gambar 10. Skenario pengujian dengan penggunaan variable voltage dan voltmeter

Hasil pengujian di berbagai kondisi discharge, over-discharge, charge, maupun overcharge diperoleh hasil pengukuran dari voltmeter seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. VV1, VV2, VV3, dan VV4 mewakili sel baterai yang ditentukan nilainya untuk menguji BMS, V1, V2, V3, dan V4 merupakan sinyal output inverting dari pendeteksi over-discharge, dan V5 merupakan sinyal inverting dari tegangan output baterai yang melewati sakelar discharge control switch. V7 merupakan gabungan sinyal dari 4 pendeteksi overcharge sel baterai yang mewakili 4 input sirkuit yang berfungsi sebagai gerbang NOR. V1, V2, V3, V4, V5, dan V7 berada kondisi sinyal HIGH jika memiliki tegangan 0,6 V atau diatas 0,6V, dan berada pada kondisi sinyal LOW jika memiliki tegangan dibawah 0,6V. V6 dan V8 merupakan output sinyal dari rangkaian yang memiliki fungsi gerbang AND dan NOR yang dipakai untuk men-drive mosfet switching, sinyal ini berada pada kondisi HIGH jika memiliki tegangan diatas 4 V dan kondisi LOW jika memiliki tegangan dibawah 4 V.

Tabel 1. Hasil Pengujian dan pengukuran tegangan V1-V9 di berbagai kondisi

No	VV 1 (V)	VV 2 (V)	VV 3 (V)	VV 4 (V)	V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	V4 (V)	V5 (V)	V6 (V)	V7 (V)	V8 (V)	V9 (V)
1	2,4	2,4	2,4	2,4	0	0	0	0	0	0	0	9	0
2	2,4	2,6	2,6	2,6	0	3	5,6	8,2	0	0	0	9,7	0
3	2,6	2,4	2,6	2,6	0,6	0	5,7	8,4	0	0	0	9,7	0
4	2,6	2,6	2,4	2,6	0,6	3	0	8,2	0	0	0	9,7	0
5	2,6	2,6	2,6	2,4	0,6	3,1	5,7	0	0	0	0	9,9	0
6	2,6	2,6	2,6	2,6	0,6	3,1	5,7	8,4	0	0	0	9,9	0
7	2,6	2,6	2,6	2,6	0,6	3,1	5,7	8,4	10,4	10,4	0	9,9	10,4
8	3,6	3,6	3,6	3,6	1,6	5,2	8,7	12,3	14,3	14,3	0	13,7	14
9	3,7	3,6	3,6	3,6	1,7	5,2	8,8	12,4	14,4	14,4	1	0	14
10	3,6	3,7	3,6	3,6	1,6	5,2	8,8	12,4	14,4	14,3	4,5	0	14
11	3,6	3,6	3,7	3,6	1,6	4,9	8,7	12,4	14,3	14,3	8	0	14
12	3,6	3,6	3,6	3,7	1,6	5,1	8,8	12,6	14,4	14,4	11,8	0	14
13	3,7	3,7	3,7	3,7	1,7	5,4	9	12,8	14,6	14,6	11,9	0	14,4

Secara umum pengujian pada nomer 1 sampai 7 di tabel 1 menunjukkan pengujian pada kondisi discharge dan over-discharge. Pengujian pada nomer 1 sampai 5 menunjukkan skenario sel baterai yang memiliki tegangan dibawah 2,5 V atau dalam kondisi over-discharge, kondisi ini menyebabkan V6 memiliki tegangan 0 V atau pada kondisi sinyal LOW sehingga men-drive mosfet di bagian discharge control switch pada kondisi switch off dan mengakibatkan V5 pada kondisi LOW. Hasil pengujian di tabel 1 pada nomer 6 menunjukkan semua sel baterai tidak berada pada kondisi overcharge tetapi menghasilkan sinyal LOW di V6, hal ini disebabkan oleh sinyal di V5 pada kondisi LOW akibat discharge control switch pada kondisi switch off, untuk mengaktifkannya diperlukan tegangan charge lebih dari 0,6 V sesaat di V9. Hasil pengujian pada nomer 7 dan 8 menunjukkan 5 input inverting pada sirkuit AND berada pada kondisi HIGH sehingga mengakibatkan output gerbang AND di V6 berapa pada kondisi HIGH dan mengakibatkan discharge control switch pada kondisi switch on.

Secara umum pengujian pada nomer 7 sampai 13 di tabel 1 menunjukkan pengujian pada kondisi charge dan overcharge. Hasil pengujian di tabel pada nomer 7 dan 8 dapat menunjukkan sel baterai berada pada kondisi tidak overcharge ditunjukkan dengan V7 berada pada kondisi tegangan 0 V atau dalam kondisi LOW sehingga menyebabkan output sirkuit gerbang NOR atau V8 memiliki sinyal HIGH dan men-drive mosfet di bagian charge control switch pada kondisi switch on. Kondisi charge control switch pada posisi switch on merupakan kondisi sirkuit tersebut melewati arus pengisian daya dari charger ke baterai. Hasil pengujian pada nomer 9 sampai 13 menunjukkan kondisi terdapat sel baterai yang mengalami overcharge, V7 berada pada kondisi lebih dari 0,6 V atau HIGH sehingga menyebabkan output sirkuit gerbang NOR atau V8 memiliki sinyal LOW dan men-drive mosfet di bagian charge control switch pada kondisi switch off. Kondisi charge control switch pada posisi switch off merupakan kondisi sirkuit tersebut memutus arus pengisian daya dari charger ke baterai.

Kesimpulan

Desain alternatif BMS untuk overcharge protection dan over-discharge protection yang dibangun disini dapat bekerja memenuhi fungsinya berupa proteksi terhadap overcharge dan over-discharge. Discharge control switch berada pada kondisi switch off jika terdapat sel baterai yang mengalami over-discharge sehingga daya yang disediakan oleh baterai ke beban akan terputus, sebaliknya discharge control switch pada kondisi switch on jika semua sel baterai tidak mengalami over-

discharge dan daya yang disediakan oleh baterai ke beban tetap tersedia. Charge control switch berada pada kondisi switch off jika terdapat sel baterai yang mengalami overcharge sehingga daya dari charger ke baterai akan diputus, sebaliknya charge control switch tetap pada kondisi switch on jika semua sel baterai tidak mengalami overcharge dan pengisian daya dari charger ke baterai tetap berlangsung.

Daftar Pustaka

- [1] Fujita, Y., Hirose, Y., Kato, Y., & Watanabe, T. 2016. Development of battery management system. *Fujitsu Ten Tech. J*, 42(42), 68-80.
- [2] Madej, Wiesław, and Andrzej Wojciechowski. 2021. Analysis of the charging and discharging process of LiFePO4 battery pack. *Energies* 14.13 (2021): 4055.
- [3] Agustina, Muhammad Nur Putra, Artono Dwijo Sutomo, and Hendri Widiyandari. 2021. Design a battery management system (BMS) with an automatic cut off system on LFP (LiFePO4) battery type for powerbank application. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1825. No. 1. IOP Publishing.
- [4] Lawder, Matthew T., et al. 2014. Battery energy storage system (BESS) and battery management system (BMS) for grid-scale applications. *Proceedings of the IEEE* 102.6: 1014-1030.
- [5] Cheng, Ka Wai Eric, et al. 2010. Battery-management system (BMS) and SOC development for electrical vehicles. *IEEE transactions on vehicular technology* 60.1: 76-88.
- [6] Lipu, Molla Shahadat Hossain, et al. 2022. Battery management, key technologies, methods, issues, and future trends of electric vehicles: A pathway toward achieving sustainable development goals." *Batteries* 8.9 (2022): 119.
- [7] Balasingam, B., Ahmed, M., & Pattipati, K. 2020. Battery management systems—Challenges and some solutions. *Energies*, 13(11), 2825.
- [8] Haq, Irsyad Nashirul, et al. 2014. Development of battery management system for cell monitoring and protection. 2014 international conference on electrical engineering and computer science (ICEECS). IEEE,.
- [9] Liu, Peide, and Xiujuan Zhang. 2011. The Design of Smart Battery Management Systems. *J. Comput.* 6.11 (2011): 2484-2490.
- [10] Lelie, M., Braun, T., Knips, M., Nordmann, H., Ringbeck, F., Zappen, H., & Sauer, D. U. 2018. Battery management system hardware concepts: An overview. *Applied Sciences*, 8(4), 534.
- [11] Lee, S. B., Thiagarajan, R. S., Subramanian, V. R., & Onori, S. 2022. Advanced battery management systems: Modeling and numerical simulation for control. In 2022 American Control Conference (ACC) (pp. 4403-4414). IEEE.
- [12] Zhu, F., Liu, G., Tao, C., Wang, K., & Jiang, K. 2017. Battery management system for Li-ion battery. *The Journal of Engineering*, 2017(13), 1437-1440.
- [13] Gabbar, H. A., Othman, A. M., & Abdussami, M. R. 2021. Review of battery management systems (BMS) development and industrial standards. *Technologies*, 9(2), 28.
- [14] Han, W., Wik, T., Kersten, A., Dong, G., & Zou, C. 2020. Next-generation battery management systems: Dynamic reconfiguration. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 14(4), 20-31.
- [15] Agus, Agus Nurcahyo. 2024. Desain Solar Charge Controller Metode FPPT atau Pelacakan Pengisian Daya Penuh Untuk Panel PV dan Power Station Portabel. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine* 10.1 (2024): 135-145.