



Real Time Battery Monitoring Control in Mini Generating System

Usman Nursusanto¹, Khairunnisa², Hartoyo³

^{1,2,3} Universitas Negeri Yogyakarta

¹usmannursusanto@uny.ac.id* ²khairunnisa@uny.ac.id, ³hartoyo@uny.ac.id

*corresponding author

ABSTRACT

Mini-generating systems such as PLTS utilize batteries as energy storage media. The increasing use of PLTS also adds to the problem of battery waste (B3). The battery monitoring tool is used to monitor the condition of PLTS batteries and used batteries. This research was conducted using the ADDIE method. Data collection techniques were carried out through literature study, observation, and practice. Research products are battery packs and BMS boxes. The error rate of BMS readings on the values of voltage, current, and temperature are 4.59%, 2.002% and 0.83%. The undervoltage reading error rate is 0.3V. The BMS protection circuit can break the stacking battery circuit when a battery-related problem occurs. The first experiment obtained a measured voltage value of 11.5V when it was not connected to the charging input and the discharging load. The second experiment obtained a measured charging voltage of 12.2V and a measured discharging voltage of 11.9V. Based on these results it can be concluded that the battery is in good condition.

ABSTRAK

Sistem mini pembangkit seperti PLTS memanfaatkan baterai sebagai media penyimpanan energi. Pemanfaatan PLTS yang semakin meningkat juga menambah permasalahan limbah baterai (B3). Alat monitoring baterai digunakan untuk memantau kondisi baterai PLTS maupun baterai bekas. Penelitian ini dilaksanakan dengan metode ADDIE. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur, observasi dan praktik. Produk penelitian berupa baterai pack dan box BMS. Tingkat kesalahan pembacaan BMS terhadap nilai tegangan, arus, dan suhu yaitu 4,59%, 2,002% dan 0,83%. Tingkat kesalahan pembacaan *undervoltage* sebesar 0.3V. Rangkaian proteksi BMS dapat memutus rangkaian baterai susun saat terjadi permasalahan terkait baterai. Percobaan pertama diperoleh nilai tegangan terukur 11.5V ketika tanpa disambungkan ke input charging dan beban *discharging*. Percobaan kedua diperoleh tegangan *charging* terukur 12.2V dan pada tegangan *discharging* terukur 11.9V. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa baterai dalam kondisi baik.

Article Info

Article history

Received: Nov 13th, 2022

Revised: Nov 28th, 2022

Accepted: Nov 30th, 2022

Keywords

Mini Generating
Battery
Battery Monitoring
BMS

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi merupakan hal yang tidak bisa dihindari. Seiring perkembangan zaman, semakin berkembang pula teknologi

yang dapat di manfaatkan. Salah satu teknologi dalam bidang kelistrikan ialah penggunaan baterai pada mobil listrik. Penggunaan sistem baterai dalam mobil listrik baik dalam bentuk *hybrid* maupun *electric vehicle* (EV) semakin

meningkat. Selain itu banyak juga minat yang signifikan dalam menggunakan baterai EV untuk membantu mendukung fungsionalitas teknologi dalam ruang lingkup energi baru terbarukan.

Kendaraan listrik yang sering digunakan memanfaatkan sebuah charge baterai sebagai sumber media penyimpanan energi listrik. Penggunaan baterai tersebut menjadi tantangan tersendiri dalam menyikapi sebuah masalah baru yang akan terjadi yaitu sebuah limbah. Salah satu tindakan yang dapat mencegah potensi buruk tersebut ialah dengan memanfaatkan lagi baterai bekas atau limbah untuk dapat digunakan kembali. Penggunaan baterai bekas tersebut dapat digunakan pada perancangan sistem pembangkit mini. Pemanfaatan limbah bekas yang dimaksud ialah memakai komponen baterai bekas atau yang sudah tidak terpakai untuk digunakan kembali (*Second life*). Kerusakan baterai tahap pertama yaitu ketika fungsi penyimpanan maksimal hanya sampai 70-80% (Strickland, 2014: 1).

Limbah baterai semakin bertambah dengan meningkatnya minat masyarakat terhadap penggunaan kendaraan listrik. Bahkan tahun 2008 Arup dan Cenex menyampaikan bahwa akan ada sekitar 70.000 hingga 2,6 juta kendaraan listrik dan hibrida di jalan pada tahun 2020. Baterai bekas yang di buang menjadi limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) karena mengandung logam berat (Permen No. 22 Tahun 2021). Sehingga diperlukan penanganan khusus agar tidak mencemari lingkungan. Penggunaan baterai masa pakai kedua jika dilihat dari segi ekonomis akan lebih murah, namun harus diperhatikan terkait keandalan baterai bekas tersebut.

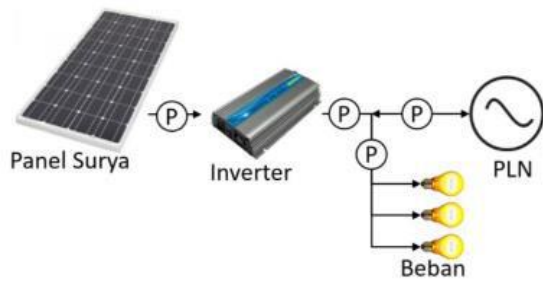
Selain sistem kendaraan terutama mobil listrik, penggunaan sistem baterai juga dapat dimanfaatkan pada sebuah sistem pembangkit. Penggunaan baterai dalam sistem pembangkit listrik dimanfaatkan sebagai penyimpanan energi listrik sehingga. Penyimpanan energi listrik menggunakan baterai sangat penting jika pembangkit ini menggunakan sistem *off-grid*. Baterai yang digunakan sebagai *Energy Storage System* (ESS) ialah baterai Lithium-Ion EV. Hal

ini dikarenakan penggunaan kembali baterai Lithium-Ion EV akan mendukung pasokan listrik dalam manajemen peningkatan permintaan listrik. Pada rancangan sistem mini pembangkit tentunya diperlukan alat untuk monitoring baterai dalam kondisi *real-time*. Oleh karena itu, peneliti melakukan pengembangan alat monitoring baterai dalam kondisi *real-time* pada rancangan sistem mini pembangkit tenaga surya.

Sistem mini pembangkit merupakan suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber listrik melalui *photovoltaic cell* atau biasa kenal dengan sel surya. Photovoltaic merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi surya (foton) menjadi listrik arus searah (Rafael, 2014: 63). Riyan 2017 menyebutkan bahwa photovoltaic terbuat dari bahan semikonduktor yang terdiri dari *diode p-n junction*, dimana ketika photovoltaic terkena sinar matahari maka akan membangkitkan energi listrik. Proses perubahan energi tersebut disebut efek photoelectric.

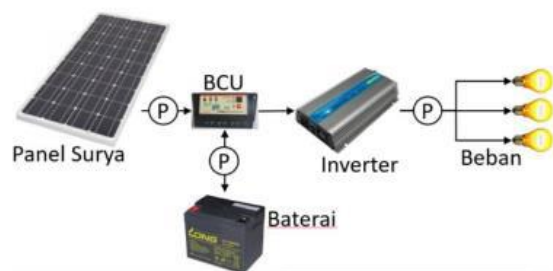
Energi listrik yang dihasilkan oleh sistem mini pembangkit selalu berubah-ubah tiap waktu. Besar energi listrik yang dibangkitkan tergantung pada sinar matahari yang diterima. Awan tebal, mendung dan bayangan akan memberikan efek signifikan terhadap sinar matahari yang diterima oleh sel surya. Sel surya dapat disambungkan secara seri seri atau paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan (Wisnu, 2016: E74).

Konsep konfigurasi komponen sistem mini pembangkit dikelompokkan menjadi 2, yaitu sistem *on-grid* dan sistem *off-grid*. Sistem *on-grid* merupakan sistem yang terhubung dengan jaringan listrik (Maruna, 2019: 158) Panel surya serta inverter yang dapat sinkron dengan grid PLN merupakan komponen utama dalam PLTS *on-grid*. Sistem *on-grid* dapat mengimbangi tagihan listrik secara langsung, namun sistem *on-grid* mempunyai kekurangan yakni akan ikut terputus jika PLN terputus. Gambar 1 menunjukkan konfigurasi sistem *on-grid*.



Gambar 1. Konfigurasi Sistem on-grid
(Sapto, 2019: 59)

Sistem mini pembangkit *off-grid* merupakan sistem yang berdiri sendiri. Sehingga dalam memasok beban DC maupun AC, sistem mini pembangkit *off-grid* beroperasi secara mandiri. Sistem *off-grid* membutuhkan tempat penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh cahaya matahari seperti baterai. Karena sistem ini berdiri sendiri, maka sistem *off-grid* cocok digunakan di daerah terpencil yang relatif sulit diakses oleh jaringan grid nasional. *Off-grid* dianggap sebagai teknologi penting untuk mewujudkan keandalan, keberlanjutan dan solusi tekno-ekonomi energi (Partaonan, 2022: 33). Namun dengan demikian, daerah terpasang PLTS sistem *off-grid* tersebut harus berada pada ketersediaan cahaya matahari yang cukup dalam men-*charging* baterai. Arus *charging* akan berhenti seketika jika tidak tersedia cahaya matahari. Sehingga hanya sisa energi listrik tersimpan pada baterai yang akan mensuplai beban. Kemudian ketika kapasitas baterai yang digunakan habis, maka beban akan terputus. Sehingga dalam sistem *off-grid* sangat diperlukan kontinuitas suplai listrik. Gambar 2 menunjukkan konfigurasi sistem *off-grid*.



Gambar 2. Konfigurasi Sistem *off-grid*
(Sapto, 2019: 59)

Penggunaan mini pembangkit tenaga surya membutuhkan tempat untuk menyimpan energi listrik. Maka dibutuhkan baterai sebagai tempat menyimpan energi listrik. Energi listrik yang tersimpan di dalam baterai dapat digunakan saat mini pembangkit tenaga surya tersebut tidak dapat membangkitkan energi listrik atau dapat juga digunakan saat malam hari. Baterai merupakan perangkat listrik yang terdiri dari sel dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* dengan efisiensi yang tinggi. *Reversible* diartikan sebagai proses pengosongan, dimana di dalam proses tersebut berlangsung perubahan kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia.

Terdapat beberapa teknologi baterai yang biasa dikenali antara lain *lead acid*, alkaline, Ni-Fe, Ni-Cad dan Li-ion. Dari masing-masing jenis baterai terdapat kelebihan dan kekurangan. Baterai *lead acid* salah satu jenis *battery* yang sering digunakan untuk penyimpanan energi listrik. Baterai *lead acid* memiliki beberapa keunggulan baik dari segi teknis maupun ekonomis dibandingkan dengan jenis baterai yang telah disebutkan sebelumnya.

Baterai *lead acid* dibedakan menjadi *Liquid Vented* dan *Sealed* (Ahmad, 2016: 13). Proses penguapan atau evaporasi pada baterai diatur oleh bagian yang disebut *valve* atau katup, karena proses tersebut maka disebut *valve regulated*. Baterai *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) cocok digunakan untuk sistem mini pembangkit, karena baterai tersebut mampu men-*discharge* sejumlah arus listrik secara konstan dalam waktu yang lama sehingga baterai tersebut dapat disebut dengan baterai *deep cycle*.

Baterai Lithium-ion merupakan salah satu jenis baterai sekunder (*rechargeable*) yang umum digunakan terutama pada berbagai peralatan elektronik portable. Baterai ini digunakan untuk kendaraan listrik dan hibrida untuk mendukung kesepakatan mengurangi emisi gas rumah kaca (Angella, 2021: 27) Baterai jenis li-ion memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya lebih unggul jika dibandingkan dengan baterai jenis lain.

Keunggulan tersebut diantaranya memiliki energi spesifik, densitas dan efisiensi yang tinggi serta memiliki kemampuan pengisian yang cepat dan umur yang relatif panjang. Gambar 3 menunjukkan bentuk dari baterai Li-Ion.



Gambar 3. Baterai Lithium-Ion

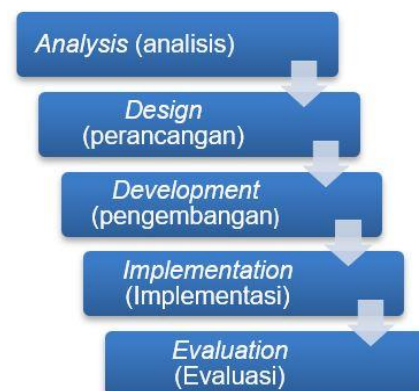
Pada baterai li-ion, ion lithium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan dan kembali saat diisi ulang. Senyawa yang digunakan sebagai bahan elektroda tersebut ialah litium interkalasi. Karena kepadatan energinya yang baik, baterai li-ion selain digunakan untuk peralatan elektronik juga sering digunakan oleh industri militer, kendaraan listrik dan dirgantara (Afif, 2015: 96).

Battery Management System (BMS) merupakan sirkuit kontrol elektronik yang memantau dan mengatur pengisian dan pengosongan serta mengelola kondisi kerja baterai (khususnya baterai jenis lithium) lain deteksi jenis baterai, voltase, suhu, kapasitas, status pengisian daya, konsumsi daya, sisa waktu pengoperasian, siklus pengisian daya, dan beberapa karakteristik lainnya. Susunan baterai tersebut disusun secara seri dan paralel sehingga menjadi satu paket baterai.

BMS diperlukan dalam sistem mini pembangkit untuk meningkatkan kinerja dan memperpanjang umur baterai dengan mengatasi dinamika proses penyimpanan energi. BMS memiliki 2 aspek operasional, yaitu pemantauan dan pengendalian. Kedua aspek tersebut tidak dapat dipisahkan, karena dalam menjalankan kontrol proses pengisian dan pengosongan baterai yang tepat diperlukan sistem pemantauan yang cepat, tepat dan akurat.

METODE

Model penelitian yang digunakan dalam Pengembangan Alat Kontrol Monitoring Baterai dalam kondisi *Real-Time* pada Sistem Mini Pembangkit yaitu metode R&D (*Research and Development*). R&D merupakan jenis metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut (Sugiyono, 2011: 407). Model ADDIE memiliki fungsi sebagai pedoman dalam membangun perangkat dan infrastruktur program pelatihan yang efektif, dinamis dan mendukung kinerja pelatihan itu sendiri (Novan, 2013: 42). Tujuan dilaksanakan penelitian ini ialah untuk memantau baterai per pack ketika digunakan langsung dengan sistem mini pembangkit. Gambar 4 menunjukkan metode penelitian ADDIE.

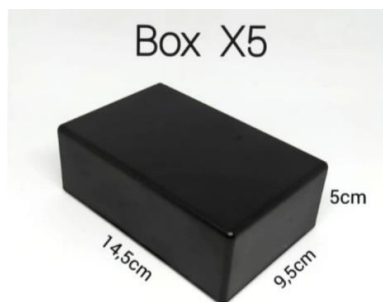


Gambar 4. Metode Penelitian (Novan, 2013: 42)

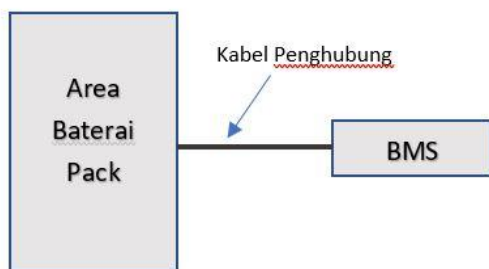
Tahap analisis dilakukan dengan tujuan pengumpulan informasi dan melakukan studi literatur serta observasi (penelitian secara langsung). Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui data yang dibutuhkan dan data tersebut yang akan dikembangkan lebih lanjut.

Setelah melakukan analisis, tahap selanjutnya yaitu *design*. Proses desain difokuskan pada pembuatan media yang akan dilakukan pengembangan. Tahap desain ini meliputi desain produk. Desain produk dibuat berdasarkan kebutuhan dan permasalahan yang sudah dianalisis. Alat monitoring dirancang

dengan spesifikasi 3S 60 Ampere dan dihubungkan dengan voltmeter serta dilengkapi box ukuran X5 sebagai casing. Langkah desain produk ini memperhatikan tata letak komponen serta kapasitas baterai pack. Hal ini perlu diperhatikan supaya alat yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik. Gambar 5 menunjukkan desain box ukuran X5. Gambar 6 menunjukkan blok diagram Baterai Pack dengan BMS.



Gambar 5. Desain Box BMS X5



Gambar 6. Penyambungan BMS dengan Baterai Pack

Langkah *Development* secara ringkas yang dilakukan selama penelitian diuraikan sebagai berikut: 1) Tahap pertama yaitu mengidentifikasi masalah. Tahap ini dilakukan untuk mengetahui masalah yang sedang dihadapi sehingga hasil penelitian diharapkan mampu menangani permasalahan tersebut; 2) Tahap kedua yaitu studi literatur. Tahap ini dilakukan dengan mencari berbagai referensi dari penelitian sebelumnya yang relevan. Hal ini dilakukan agar diperoleh acuan dan referensi yang jelas dalam melaksanakan penelitian; 3) Tahap ketiga yaitu pengumpulan data. Pengumpulan data berupa kapasitas baterai bekas yang sudah disusun menjadi baterai pack; 4) Tahap keempat yaitu merancang monitoring

Battery management System (BMS) dan membuat alat monitoring; 5) Tahap kelima yaitu menguji monitoring pada baterai pack.

Tahap terakhir ini dilakukan untuk mengetahui kondisi baterai bekas yang sudah disusun menjadi baterai pack tersebut masih layak digunakan kembali atau tidak.

Tahap implementasi dilaksanakan setelah selesai melakukan desain dan pengembangan. Tahap implementasi dilakukan untuk menguji fungsi produk apakah alat tersebut sudah siap dan layak untuk digunakan secara langsung.

Tahap terakhir dalam penelitian ini yaitu kegiatan evaluasi. Kegiatan ini dilaksanakan dengan tujuan agar ditemukan kekurangan dan permasalahan dari produk yang dikembangkan. Kekurangan dan permasalahan yang ditemukan tersebut akan dijadikan bahan evaluasi sebagai perbaikan atau penyempurnaan dari produk yang dikembangkan.

Metode pengumpulan data dalam penelitian yaitu melalui kegiatan studi literatur dan kegiatan observasi serta praktik. Studi literatur dilakukan sebagai upaya menambah wawasan dan ide dalam pengembangan alat monitoring baterai. Lalu kegiatan observasi dan praktik dilaksanakan secara berkelanjutan selama proses pengembangan produk melalui kegiatan *trial and error*.

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis deskriptif kuantitatif. Data diperoleh melalui perhitungan dan uji coba dari baterai. Data ini digunakan dalam penelitian pengembangan alat kontrol monitoring baterai. Data yang diambil meliputi tegangan dari baterai dan output dari mini pembangkit. Rumusan yang digunakan dalam analisis perhitungan diuraikan sebagai berikut.

$$V_{tot} = N_{baterai} \times V_{baterai} \dots \dots \dots 1)$$

$$I_{tot} = N_{baterai \text{ per sell}} \times I_{baterai} \dots \dots \dots 2)$$

$$\text{Charging Rate} : \dots \dots \dots 3)$$

$$\text{Watt Peak} / V_{baterai} \times N_{baterai \text{ per sell}}$$

$$\text{Discharge Rate} : \dots \dots \dots 4)$$

$$\text{Watt Hours} / V_{baterai} \times N_{baterai \text{ per sell}}$$

Keterangan:

- V : Tegangan (volt)
- I : Arus (Ah)

- N : Jumlah
- Watt Peak : Kapasitas mini pembangkit
- Watt : Lama pemakaian beban
- Hours

HASIL DAN PEMBAHASAN

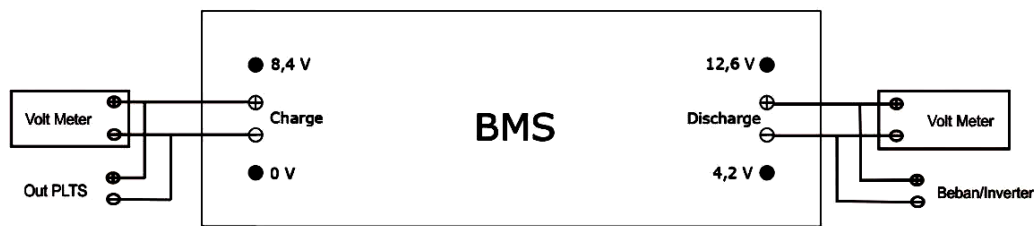
Desain Pemasangan BMS

Penempatan alat monitoring baterai kondisi *real-time* pada sistem mini pembangkit menggunakan kotak berbahan plastik keras (Gambar 5) sebagai tempat pemasangan BMS dan voltmeter. BMS dipasang sebagai sirkuit kontrol yang mengatur keseimbangan pada rangkaian baterai dan voltmeter sebagai alat pengukur tegangan baik pada saat kondisi *charging* maupun *discharging*. Gambar 7 menunjukkan BMS 60A.

BMS yang dirakit dengan voltmeter tersebut pada satu sisi akan digunakan untuk mengukur tegangan baterai pada sambungan beban atau inverter saat kondisi discharge. Sisi lain akan digunakan untuk mengukur tegangan baterai pada sambungan keluaran PLTS saat kondisi charging. Gambar 8 menunjukkan rangkaian BMS untuk charging dan discharging.



Gambar 7. BMS 60A.



Gambar 8. Rangkaian BMS

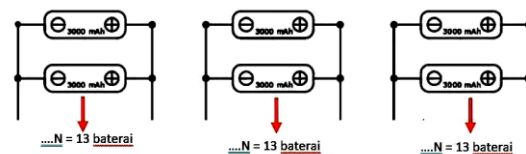
Agar tegangan dan arus pada baterai dapat diperoleh hasil seimbang, maka diperlukan sebuah sistem yang dapat mengatur nilai tersebut. Alat yang digunakan untuk monitoring baterai terkait kondisi tersebut disebut BMS. Jadi BMS merupakan perangkat yang digunakan untuk penyeimbang, pemantauan dan proteksi pada baterai yang disusun secara seri atau baterai susun. BMS dilengkapi dengan *passive cell balancing*, sensor tegangan setiap baterai, sensor arus, sensor suhu, dan rangkaian proteksi untuk memutus arus.

Desain Baterai Pack

Baterai pack di desain menggunakan papan akrilik 5mm dengan ukuran P:45cm x L:15cm. Papan pack baterai dilengkapi dengan pendingin konvensional berupa kipas 3 inch 12 VDC. Baterai pack di susun seri dan baterai di rangkai secara paralel sejumlah 13 buah per susun. Baterai disusun sejumlah 39 buah (3 susun). Desain akrilik dan susunan baterai dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Bentuk Fisik Box BMS



Gambar 10. Desain Susunan Baterai

Desain papan pack yang telah selesai di rancang tersebut kemudian dilakukan

pencetakan akrilik dan di rakit sesuai kebutuhan. Gambar 11 menunjukkan papan baterai pack yang telah dirakit pada papan akrilik.



Gambar 11. Papan Baterai Pack

Analisis Perhitungan Baterai

Spesifikasi baterai yang digunakan sebesar 3000 mAh. Jadi jumlah baterai yang digunakan untuk menyusun baterai pack sejumlah 39 baterai

$$V_{tot} = N_{baterai} \times V_{baterai}$$

$$V_{tot} = 13 \times 3,7 \text{ Volt}$$

$$V_{tot} = 11,1 \text{ Volt}$$

Jika jumlah rangkaian seri baterai terdiri dari 13 buah,

$$I_{tot} = N_{baterai \text{ per sell}} \times I_{baterai}$$

$$I_{tot} = (13 \times 3000 \text{ mAh})$$

$$I_{tot} = 39000 \text{ mAh} = 39 \text{ Ah}$$

Charging rate:

$$240 \text{ wh} / (3,7 \times 13) = 240/48.1 = 4A$$

Discharge rate

$$354 \text{ wh} / 48.1 = 7,35 \text{ A}$$

Uji Coba

Baterai tipe lithium pada umumnya disusun untuk menghasilkan tegangan dan kapasitas yang diinginkan. Perhitungan kapasitas baterai yang dipilih sesuai spesifikasi baterai yang telah ditentukan yaitu sebesar 3000 mAh 3,7 V per baterai.

Baterai pack yang digunakan yaitu menggunakan baterai lithium berjumlah 39 buah yang kemudian dihubungkan ke kotak berisi BMS. Tegangan baterai lithium sebesar 3.7V. Maka susunan baterai 3S (seri) menghasilkan voltase sebesar 12V. Kapasitas baterai lithium sebesar 3000 mAh, sehingga susunan baterai 13 paralel menghasilkan kapasitas 39000 mAh atau 39 Ah.

BMS mampu membaca nilai tegangan baterai dengan kesalahan terbesar 4,59%, nilai arus dengan kesalahan 2,002% dan nilai suhu dengan kesalahan 0,83%. *Passive cell balancing* dapat melakukan transfer energi dan tegangan baterai mengalami penurunan menjadi 0,17 V menjadi 0,14 V. Rangkaian proteksi dapat memutus rangkaian baterai susun saat kondisi *overcurrent*, *overheat*, *undervoltage*, dan *overvoltage*. *Error* membaca *overheat* sebesar 20 °C dan *undervoltage* sebesar 0.3 V.

Berdasarkan percobaan dengan menyambungkan BMS ke baterai tanpa *input charging* dan beban *discharging* tegangan baterai terukur 11.5 V, sementara itu perhitungan baterai dalam kondisi baik seperti pada perhitungan sebelumnya yaitu memiliki tegangan 11.1 V. Dari hasil tersebut diperoleh bahwa baterai masih dalam kondisi baik. Gambar 12 menunjukkan tampilan dari hasil pengukuran baterai tanpa *input charging*.



Gambar 12. Tanpa *input charging* dan beban *discharging*

Berdasarkan hasil percobaan dengan menggunakan input *power supply* 12 Volt 20.8 Ampere untuk *charging* selama 10 menit diperoleh tegangan *charging* terukur 12.2 V dan pada tegangan *discharging* terukur 11.9 V. Gambar 13 menunjukkan tampilan dari hasil pengukuran baterai dengan *input charging*.



Gambar 13. Percobaan dengan *Input charging power supply*

SIMPULAN

Pengembangan Alat Kontrol Monitoring pada Baterai dalam kondisi *Real-Time* di Sistem Mini Pembangkit menggunakan hardware berupa BMS sebagai penyeimbang, pemantauan dan proteksi pada baterai yang disusun secara seri atau baterai pack. Alat ini dilengkapi dengan voltmeter pada sisi *charging* dan *discharging*.

BMS mampu membaca nilai tegangan baterai dengan kesalahan terbesar 4,59%, nilai arus dengan kesalahan 2,002% dan nilai suhu dengan kesalahan 0,83%. *Passive cell balancing* dapat melakukan transfer energi dan tegangan baterai mengalami penurunan menjadi 0,17 V menjadi 0,14 V. Rangkaian proteksi dapat memutuskan rangkaian baterai susun saat kondisi *overcurrent*, *overheat*, *undervoltage*, dan *overvoltage*. *Error* membaca *overheat* sebesar 20 °C dan *undervoltage* sebesar 0.3 V.

Berdasarkan percobaan dengan BMS yang disambungkan ke baterai tanpa input *charging* dan beban *discharging* tegangan baterai terukur 11.5 V. Sementara hasil percobaan menggunakan input *power supply* 12 Volt 20.8 Ampere untuk *charging* selama 10 menit diperoleh tegangan *charging* terukur 12.2 V dan pada tegangan *discharging* terukur 11.9 V. Hasil tersebut jika dibandingkan dengan perhitungan baterai, maka dapat disimpulkan bahwa baterai dalam kondisi baik yaitu memiliki tegangan 11.1 V.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad Arif Sakti. 2016. *Rancang Bangun Mppt Solar Charger Controller Menggunakan Synchronous Rectification Buck Converter Dengan Metode P&O Berbasis Arm Di Prototipe Plts Teknik Fisika Its*. TA. JURUSAN TEKNIK FISIKA Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Angella Natalia, Ghea Puspita, dkk. 2021. *Peluang Pertumbuhan Dan Prospek Pasar Daur Ulang Baterai di Asia Pasifik*. Jurnal Rekayasa Pertambangan (JRP) Vol 1, No 1, hal 25-33
- Arup and Cenex. 2008. "Investigation into the Scope for the Transport Sector to Switch to Electric Vehicles and Plugin Hybrid Vehicles". Department for Business Enterprise and Regulatory Reform: Department for Transport.
- Maruna Yora Syaffi dan Mahardika. 2019. *Strategi Pembebanan PLTS Off Grid untuk Peningkatan Kontinuitas Suplai Energi Listrik*. Jurnal Rekayasa Elektroika Vol. 15, No. 3, hal. 157-161
- Muhammad Thowil Afif, Ilham Ayu Putri Pratiwi. 2015. *Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid Dan Nickel-Metal Hydride Pada Penggunaan Mobil Listrik – Review*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.6, No.2 Tahun 2015: 95-99
- Novan Ardi Wiyani. 2013. *Desain Pembelajaran Pendidikan*. Yogyakarta: Ar-ruzz Media
- Partaonan Harahap, Muhammad Adam, dan Benny Oktrialdi .2022. *Optimasi Kapasitas Rooftop Pv Off Grid Energi Surya Berakselerasi di Tengah Pandemi Covid-19 untuk Diimplemtasikan pada Rumah Tinggal*. RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer) Vol. 5 No. 1. Hal. 31-38

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. *Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Lingkungan Hidup*. 2021. Jakarta
- Rafael Sianipar. 2014. *Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti, JETri, Volume 11, Nomor 2, Februari 2014, Halaman 61-78
- Riyan Cahya P, dkk. 2017. *Analisa Performansi Dan Monitoring Berbasis Web Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Fakultas Teknologi Industri ITS*. Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Sapto Prayogo. 2019. *Pengembangan Sistem Manajemen Baterai Pada PLTS Menggunakan On-Off Grid Tie Inverter*. Jurnal Teknik Energi Vol 9, No 1, hal. 59-63
- Strickland D, Chittock L, dkk. 2014. Estimation of Transportation Battery Second Life for Use in Electricity Grid Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. Vol. 5, No. 3, Halaman 1-8
- Sugiyono. 2011. *Metode Penilaian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R/D)*. Bandung: Alfabeta
- Wisnu Broto & Dafi Dzulfikar. 2016. *Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga*. Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2016 Vol V, hal E73-E76