

PENGARUH BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS) PADA PENGISIAN BATERAI LITHIUM SISTEM PLTS

Bakhtiar¹⁾, Tadjuddin¹⁾

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRAK

One of the most important parts of PLTS is the battery as a storage place for electrical energy produced by solar panels. Currently, lithium-ion batteries are widely used for storing electrical energy produced by solar panels in PV mini-grid systems. This type of battery is chosen as the storage of electrical energy in PLTS because the power density and energy density are greater than other types of batteries. This type of battery has the disadvantage that it is very sensitive to overcharge and the problem of imbalance of battery capacity in series can affect the overall performance of the battery. In this study, 18650 lithium-ion batteries are arranged in series to produce a voltage of 12 V and arranged in parallel to increase their capacity. By using BMS 3S 20A 12V on a lithium-ion battery as electrical energy storage from a 100 Wp solar panel, 20A 12V PWM controller. The results showed that the effect of BMS on the amount of electrical energy stored in the battery was greater, namely without BMS the amount of stored electrical energy was 7.80 Wh, while the battery with BMS stored electrical energy was 19.40 Wh.

Keywords : Baterai, *Lithium ion*, BMS, PLTS

1. PENDAHULUAN

Investasi di bidang energi terbarukan yang rendah juga dapat mempengaruhi keberlanjutan pasokan energi nasional. Beberapa hambatan yang menyebabkan rendahnya investasi di bidang energi terbarukan antara lain biaya investasi awal yang sangat tinggi sehingga mengakibatkan harga energi terbarukan tinggi dan tidak kompetitif, minat swasta di bidang energi terbarukan yang masih rendah dan kemampuan teknologi industri dalam negeri yang masih rendah.

PLTS tidak memiliki daya konstan karena kapasitas keluarannya tergantung pada tingkat radiasi matahari yang selalu berubah setiap waktu. PLTS dinilai dari seberapa banyak energi yang bisa dihasilkan, bukan seberapa besar dayanya, kecuali pada sistem yang memiliki *storage system*. Oleh sebab itu, kapasitas suatu PLTS ditentukan oleh besarnya konsumsi energi suatu beban dalam suatu periode, yaitu dengan menggunakan harga rata-rata suatu beban pada suatu lokasi dalam periodenya. Kapasitas komponen utama ditentukan sesuai tipe dan desain dari PLTS yang akan dibangun. Pada sistem PLTS, menghitung kapasitas masing-masing komponen, sangat penting karena jika kapasitas komponen terlalu kecil, maka sistem tidak dapat memenuhi kebutuhan energi yang diinginkan, tetapi jika kapasitasnya terlalu besar, maka biaya untuk PLTS akan sangat besar. Sistem PLTS memiliki komponen utama yaitu: panel surya, *inverter*, *solar charge controller* (SCC) dan *storage system* (*Battery*).

Kelebihan baterai berbasis Lithium adalah densiti energi yang tinggi, densiti daya yang tinggi, *self-discharge* yang rendah, *fast charging*, rasio massa-keenergi yang tinggi, tidak ada *memory effect*, tahan lama jika proses *charging* sesuai. Namun, baterai berbasis Lithium juga memiliki kekurangan kurang toleran, sehingga memerlukan pemantauan dan prosesur proteksi yang akurat untuk memastikan tidak *overcharge* pada salah satu sel baterai serta memastikan baterai tidak *overheat* yang dapat mengurangi umur baterai [1].

Perlunya baterai sebagai sumber energi pada sumber listrik menitik beratkan pada keandalan baterai dan keamanan dalam penggunaannya. Baterai Lithium dalam bentuk *pack* memungkinkan memiliki perbedaan karakteristik pada setiap sel di dalamnya baik dalam karakteristik kimia maupun kelistrikannya. Ketidaksamaan ini dapat menyebabkan baterai panas dengan keadaan terparahnya terbakar yang membuat ekualisasi baterai menjadi tidak terdispensasi untuk menjaga baterai dan memanjangkan umur baterai [8].

Dengan diterbitkannya Undang-Undang tentang Energi, dasar hukum pengembangan energi baru dan terbarukan menjadi lebih kuat karena secara khusus diamanatkan dalam Undang-Undang tersebut. Saat ini yang perlu mendapat perhatian adalah penelitian dan pengembangan energi baru dan terbarukan yang dapat menunjang pengembangan industri nasional yang mandiri serta dukungan pendanaan agar pengembangan energi alternatif dapat dipercepat.

Merupakan suatu kenyataan bahwa kebutuhan akan energi, khususnya energi listrik di Indonesia, makin berkembang menjadi bagian tak terpisahkan dari kebutuhan hidup masyarakat sehari-hari seiring

¹ Korespondensi penulis: Bakhtiar, HP 089669835835, bakhtiar.listrik@poliupg.ac.id

dengan pesatnya peningkatan pembangunan di bidang teknologi, industri dan informasi. Namun pelaksanaan penyediaan energi listrik yang dilakukan oleh PT.PLN (Persero), selaku lembaga resmi yang ditunjuk oleh pemerintah untuk mengelola masalah kelistrikan di Indonesia, sampai saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik secara keseluruhan.

Selain itu, makin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi, yang sampai saat ini masih merupakan tulang punggung dan komponen utama penghasil energi listrik di Indonesia, serta makin meningkatnya kesadaran akan usaha untuk melestarikan lingkungan, menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari alternatif penyediaan energi listrik yang memiliki karakter; dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian energi fosil, khususnya minyak bumi; dapat menyediakan energi listrik dalam skala lokal regional; mampu memanfaatkan potensi sumber daya energi setempat, serta; cinta lingkungan, dalam artian proses produksi dan pembuangan hasil produksinya tidak merusak lingkungan hidup disekitarnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Mengingat PLTS sangat tergantung pada kecukupan energi matahari yang diterima panel surya, maka diperlukan media penyimpan energi sementara bila sewaktu-waktu panel tidak mendapatkan cukup sinar matahari atau untuk penggunaan listrik malam hari. Baterai harus ada pada sistem PLTS terutama tipe *Off Grid*.

Kelebihan baterai berbasis Lithium adalah densiti energi yang tinggi, densiti daya yang tinggi, *self-discharge* yang rendah, *fast charging*, rasio massa-keenergi yang tinggi, tidak ada *memory effect*, tahan lama jika proses *charging* sesuai. Namun, baterai berbasis Lithium juga memiliki kekurangan kurang toleran, sehingga memerlukan pemantauan dan prosedur proteksi yang akurat untuk memastikan tidak *overcharge* pada salah satu sel baterai serta memastikan baterai tidak *overheat* yang dapat mengurangi umur baterai [1].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saat kondisi intensitas 1007 lux

maka tegangan yang dihasilkan oleh panel sel surya 1, 2, dan 3 adalah 16,5 V, 18 V, dan 19 V. Arus yang dihasilkan oleh panel sel surya 1, 2, dan 3 pada kondisi intensitas 1007 lux adalah 5,3 A, 5,8 A dan 6,1 A dari ketiga merk panel sel surya yang berbeda dengan daya yang sama dapat diketahui bahwa panel sel surya 3 dengan merk shinyoku lebih baik dari pada kedua panel sel surya yang dibandingkan. Pada saat intensitas rendah yaitu 312 lux dapat diketahui tegangan dari panel sel surya 1, 2, dan 3 adalah 20 V, 17 V, dan 18 V, dan untuk arus yang dihasilkan ketiga panel sel surya yang berbeda dengan intensitas rendah yaitu 312 lux adalah 5,3 A, 5,8 A, dan 6,1 A, dapat diketahui bahwa panel sel surya 3 dengan merk visicom lebih baik dari pada kedua panel sel surya yang lain [6].

Keterbatasan kemampuan pembangkitan tenaga listrik PT. PLN yang melayani beban di Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat dan Sulawesi Tenggara menyebabkan sering terjadi pemadaman bergilir utamanya pada saat beban puncak sekitar jam 17.00 sampai 22.00. Untuk meminimalisir pemakaian energi listrik yang dihasilkan oleh PT. PLN pada saat beban puncak diperlukan sumber energi listrik pengganti. Pada penelitian ini didesain dan diimplementasikan pemanfaatan solar cell untuk mengganti sumber PT. PLN pada saat terjadi beban puncak untuk daya terpasang 900 VA. Langkah awal dilakukan pengukuran pemakaian energi listrik pada saat beban puncak yakni jam 17.00 sampai jam 22.00, diperoleh hasil energi listrik yang terbesar adalah 2200 Wh. Berdasarkan pemakaian energi listrik maka diperlukan panel solar cell 12 V, 100 Wp sebanyak 14 buah, baterai penyimpanan energi listrik 12 V, 100 Ah sebanyak 8 buah, pengontrolan pengisian baterai 24 V, 30 A dan inverter 24 V/ 220 V, 1000 W [2].

Kebutuhan akan energi terbarukan pada masa energi fosil mulai menipis saat ini menjadikan penggunaan energi surya untuk memenuhi kebutuhan manusia akan energi menjadi pilihan yang tepat. Penggunaan energi matahari menjadi pilihan karena sifat sumber energi matahari yang tidak akan habis, serta penggunaan dan pengaplikasiannya yang mudah dibanding sumber energi terbarukan yang lain. Penunjang pemeliharaan PLTS menjadi sangat penting ketika PLTS telah terpasang, maka dibutuhkan alat monitoring dari jarak jauh untuk menunjang pemeliharaan PLTS untuk mengetahui performa PLTS, pada penelitian ini dilakukan perancangan hardware dan software untuk memantau performa PLTS menggunakan website. PLTS yang digunakan berada di Tuban Jawa Timur dengan kapasitas 1600 Wp. Dari hasil analisis monitoring tersebut kemudian dilakukan perbandingan dengan hasil simulasi menggunakan software, dari hasil perbandingan tersebut diketahui efisiensi photovoltaik sebesar 5.20% dan efisiensi inverter sebesar 53.71%. Dari analisa performansi photovoltaik diketahui bahwa photovoltaik telah mengalami penurunan sebesar 2.03% sampai 2.19 % jika dibandingkan dengan analisa software [7].

Untuk meminimalisir pemakaian energi listrik yang dihasilkan oleh PT. PLN pada waktu beban puncak diperlukan sumber energi listrik pengganti, dan dalam penelitian ini mendesain dan mengimplementasikan pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk mengganti sumber PT. PLN pada WBP. Sumber PLN akan menyuplai beban pada saat Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) yaitu jam 22.00-17.00 WITA, sedangkan sumber PLTS didesain untuk menyuplai beban Waktu Beban Puncak (WBP) yaitu jam 17.00-22.00 WITA. Perpindahan dari PLN ke PLTS ataupun sebaliknya dikontrol secara otomatis. PLTS pada siang hari akan menyimpan energi listrik ke baterai yang dikontrol dengan *Solar Charge Controller (CCR)*. Pemilihan SCC penting karena bagian ini yang mengontrol pengisian ke baterai dari sumber listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Optimalisasi pengontrolan SCC dapat dilakukan dengan memilih SCC yang mempunyai pengisian yang lebih baik. Penelitian ini menguji 3 buah SCC tipe PWM untuk melihat pengisian dan hasilnya SCC dengan merk S Series adalah yang terbaik di bandingkan dengan merk OEM dan merk Y-Solar [3].

Hasil penelitian untuk melihat efisiensi pengisian baterai PLTS menunjukkan bahwa pengukuran tegangan dan arus BCR tipe PWM menunjukkan lebih besar dibandingkan dengan BCR tipe MPPT, Daya pengisian paling besar panel PV ke baterai terjadi pada jam 11.00, untuk BCR tipe PWM besarnya 208,4 W sedangkan BCR tipe MPPT besarnya 165,8 W, serta bisa menjadi indikator untuk memilih BCR untuk meningkatkan efisiensi pengisian baterai adalah besarnya daya pengisian yang bisa disimpan ke baterai dari energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya, hasil penelitian ini menunjukkan tipe PWM lebih baik dibandingkan dengan tipe MPPT dari merk yang diuji [4].

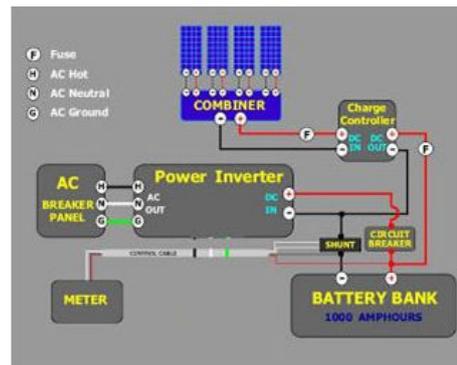
Battery Management System (BMS) yang berfungsi untuk monitoring dan proteksi baterai. Sistem monitoring berjalan dengan baik, dengan rata-rata error pengujian pada sensor tegangan 0,005%, sensor suhu 0,0326%, dan sensor arus 0,284%. Pengujian charging dengan metode constant current dan constant voltage menggunakan arus 0,8A dan tegangan 42V berjalan dengan baik dengan rata-rata kenaikan tegangan persel sebesar 0,46V dengan waktu charging 120 menit. Pengujian discharging dengan beban LED 36V 0,6A berjalan dengan baik dengan penurunan tegangan rata-rata sebesar 0,56V. State of Charge (SOC) dengan metode Open Circuit Voltage (OCV) pada pengujian charging mengalami perbedaan pada sel-sel Li-ion dengan kenaikan rata-rata sel sebesar 27%. SOC dengan metode OCV pada pengujian discharging mengalami perbedaan pada sel-sel Li-ion dengan penurunan rata-rata sel sebesar 35,75% [5].

3. METODE PENELITIAN

Makin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi, yang sampai saat ini masih merupakan tulang punggung dan komponen utama penghasil energi listrik di Indonesia, serta makin meningkatnya kesadaran akan usaha untuk melestarikan lingkungan, menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari alternatif penyediaan energi listrik. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat dikembangkan berbagai energi alternatif, di antaranya energi terbarukan. Potensi *energi terbarukan*, seperti: biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin dan energi samudera, sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi *energi terbarukan* di Indonesia sangatlah besar.

Perancangan pemanfaatan solar cell dilakukan di Lab / Bengkel Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, untuk pengukuran dan pengambilan data dilakukan di rumah Ketua Peneliti sebagai pelanggan PT. PLN Sulselrabar dengan daya terpasang 900 VA dan tempat pemasangan panel PV 2 x 100 Wp.

PLTS tidak memiliki daya konstan karena kapasitas keluarannya tergantung pada tingkat radiasi matahari yang selalu berubah setiap waktu. PLTS dinilai dari seberapa banyak energi yang bisa dihasilkan, bukan seberapa besar dayanya, kecuali pada sistem yang memiliki *storage system*. Oleh sebab itu, kapasitas suatu PLTS ditentukan oleh besarnya konsumsi energi suatu beban dalam suatu periode, yaitu dengan menggunakan harga rata-rata suatu beban pada suatu lokasi dalam periodenya. Kapasitas komponen utama ditentukan sesuai tipe dan desain dari PLTS yang akan dibangun. Pada sistem PLTS, menghitung kapasitas masing-masing komponen, sangat penting karena jika kapasitas komponen terlalu kecil, maka sistem tidak dapat memenuhi kebutuhan energi yang diinginkan, tetapi jika kapasitasnya terlalu besar, maka biaya untuk PLTS akan sangat besar. Sistem PLTS memiliki komponen utama yaitu: panel surya, *inverter*, *solar charge controller (SCC)* dan *storage system (Battery)*. Sistem PLTS diperlihatkan gambar 3 di bawah.



Gambar 1. Diagram PLTS

Pada malam hari, panel surya tidak menghasilkan listrik, karena tidak terdapat lagi sumber energi, yaitu matahari, maka peran baterai penyimpanan energi listrik sangat penting sekali pada sistem off grid. Langkah awal penelitian ini adalah membuat atau menyusun baterai lithium 18650 secara paralel-seri sesuai kebutuhan daya yang direncanakan. Sebelum dihubungkan baterai, dicek kapasitas, tegangannya dibuat sama. Membuat rancangan atau gambar penempatan semua bahan seperti panel surya 2 unit kapasitas 100 Wp, kabel power, kontroller PWM 12V 20A, BMS 3S 20A, terminal penyambungan, baterai lithium, inverter serta beban DC / AC. Setelah itu penempatan sesuai dengan gambar dan penempatan alat ukur yang terpasang secara permanen.

Sebelum melakukan pengukuran perhatikan semua kelengkapan alat ukur, kapasitas setiap alat ukur, posisi alat ukur sesuai gambar perencanaan serta utamakan keselamatan waktu melakukan pengukuran. Pengukuran arus, tegangan dan energi listrik dilakukan dari jam 09.00 sampai jam 15.00 WITA dengan selang waktu 30 menit dengan sumber energi listrik dari 2 panel PV 100 Wp yang dihubungkan paralel. Pengukuran dilakukan selama 7 hari, dan hasil pengukuran ini jadi bahan untuk menganalisis pengaruh *Battery Management System (BMS)* terhadap keseimbangan tegangan tiap baterai dan besarnya energi listrik yang tersimpan ke baterai.

4. HASIL YANG DICAPAI

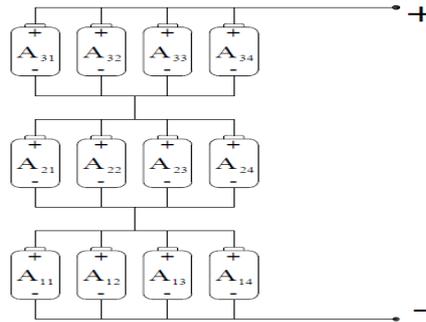
Energi surya merupakan sumber energi alternatif yang saat ini banyak digunakan, karena ramah lingkungan, tidak menimbulkan polusi, dan perawatan yang mudah. Umumnya pemanfaatan energi surya yang digunakan di Indonesia terdapat di daerah yang terisolir dari jaringan listrik (*off grid*) dan hanya memanfaatkan listrik yang dari panel surya untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam rumah. Saat siang hari, listrik yang dihasilkan panel surya akan disimpan ke baterai, dan daya yang tersimpan dalam baterai akan digunakan untuk kebutuhan listrik saat malam hari.

Hal yang sangat penting dalam proses pengisian baterai yaitu mengetahui kondisi kapasitas pengisian sudah pada tahapan berapa persen atau biasa disebut Soc (*state of charge*). Parameter yang umum digunakan untuk memperkirakan kapasitas baterai adalah tegangan pada baterai, semakin penuh kapasitas baterai, maka nilai tegangan baterai juga semakin naik. Dengan mengetahui parameter batas pengisian maksimal, maka akan mencegah baterai dari pengisian berlebihan yang dapat mengakibatkan masa pakai baterai berkurang. Baterai jenis lithium-ion memiliki beberapa cara dalam proses pengisiannya, mulai dari pengisian konstan voltage, constant current, pulse voltage, maupun penggabungan dari beberapa cara pengisian. Untuk pengisian yang baik umumnya menggunakan gabungan dari pengisian constant current, constant voltage dan float charge.

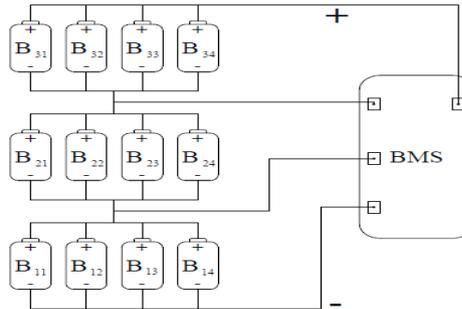
Perancangan Susunan Baterai

Baterai lithium yang digunakan dalam penelitian ini adalah 18650, jenis baterai yang bias di cas ulang (*rechargeable*). Kebanyakan perangkat elektronik portable yang membutuhkan tenaga yang besar menggunakan baterai 18650. Tegangan kerja baterai 18650 adalah 3.7 Volt dan maksimal 4.2 Volt dan baterai dianggap kosong di kisaran 2.8-3.0 Volt. Sedangkan kemampuan menyimpan arus listrik beragam tergantung produknya, misalnya 1500 mA, 2200 mA, 2500 mA, 3400 mA, 3600 mA dll.

Kapasitas baterai yang digunakan adalah 3.7 V, 3400 mA yang diparalel 4 buah kemudian disusun seri 3, sehingga total baterai yang digunakan adalah 12 buah untuk rangkai tanpa BMS dan 12 buah untuk rangkaian dengan BMS. Susunan diperlihatkan gambar 2. dan gambar 3.



Gambar 2. Susunan Baterai tanpa BMS



Gambar 3. Susunan Baterai dengan BMS



Gambar 4. Baterai 18650 dan Alat Ukur

Hasil Pengukuran

Kegiatan penelitian ini dilakukan selama 8 bulan dengan lokasi Makassar (Politeknik Negeri Ujung Pandang dan Perumahan Permata Sudiang Raya Blok K2 / 10 B. Panel surya yang digunakan memiliki kapasitas 12 V 100 Wp 2 unit, Kontroler PWM 12 V 30 A serta baterai 18650 dengan kapasitas 3.7 V 3400 mAH. Pengukuran tegangan baterai masing-masing pada rangkaian, pengukuran setiap bagian seri dan total tegangannya. Setelah itu pengisian baterai dengan menggunakan panel surya sebagai sumber listriknya selama 15 menit, kemudian diukur kembali tegangannya dan arus pengisiannya. Hasilnya seperti tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengukuran pada Rangkaian Tanpa BMS

A1	Teg (V)		A2	Teg (V)		A3	Teg (V)		A	Teg (V)		Arus (A)
	Aw	Ak										
11	3.75	4.01	21	3.79	4.00	31	3.81	4.06	A1	3.75	4.06	2.56
12	3.75	4.00	22	3.80	3.99	32	3.81	4.01	A2	3.80	4.05	
13	3.76	4.02	23	3.80	4.00	33	3.81	4.04	A3	3.83	4.08	
14	3.77	3.98	24	3.80	3.98	34	3.82	4.08	TA	11.3	12.6	

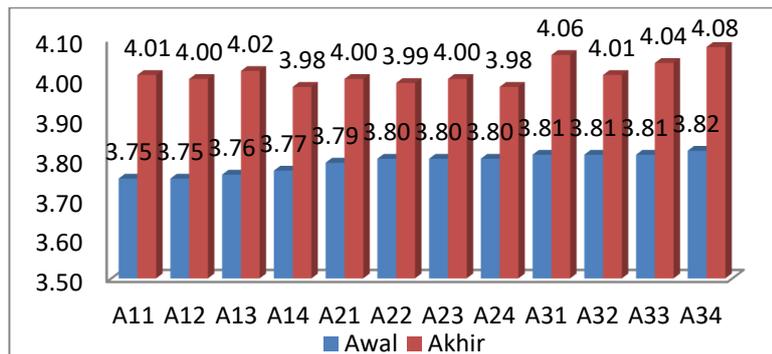
Tabel 2. Hasil Pengukuran pada Rangkaian Dengan BMS

B1	Teg (V)		B2	Teg (V)		B3	Teg (V)		B	Teg (V)		Arus (A)
	Aw	Ak		Aw	Ak		Aw	Ak		Aw	Ak	

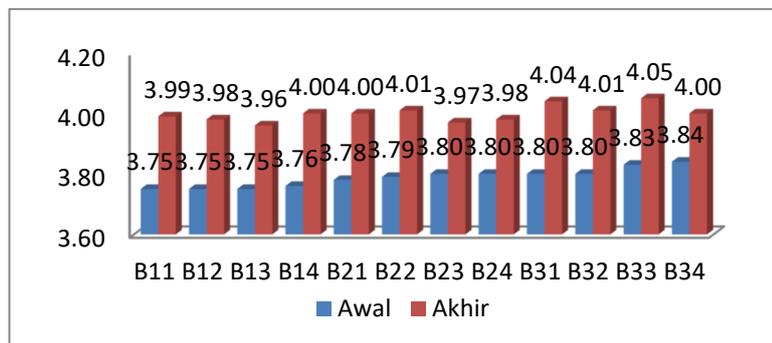
11	3.75	3.99	21	3.78	4.00	31	3.80	4.04	B1	3.75	4.07	6.35
12	3.75	3.98	22	3.79	4.01	32	3.80	4.01	B2	3.78	4.06	
13	3.75	3.96	23	3.80	3.97	33	3.83	4.05	B3	3.82	4.09	
14	3.76	4.00	24	3.80	3.98	34	3.84	4.00	TA	115	12.2	

Pemahasan

Pengukuran tegangan dan arus dilakukan jam 13.00 dengan durasi 15 menit dengan sumber suplai listrik dari panel surya 12 V 100 Wp 2 buah menggunakan kontroller PWM 12 V 30 A. Sebelum pengecasan baterai 18650 sebelumnya diukur tegangan masing masing baterai. Kode A adalah baterai tanpa BMS dan kode B menggunakan BMS, hasil pengukuran seperti pada tabel 4.1 dan tabel 4.2. Besaran tegangan sebelum dan sesudah pengecasan dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5. Pengukuran Tegangan Baterai Tanpa BMS

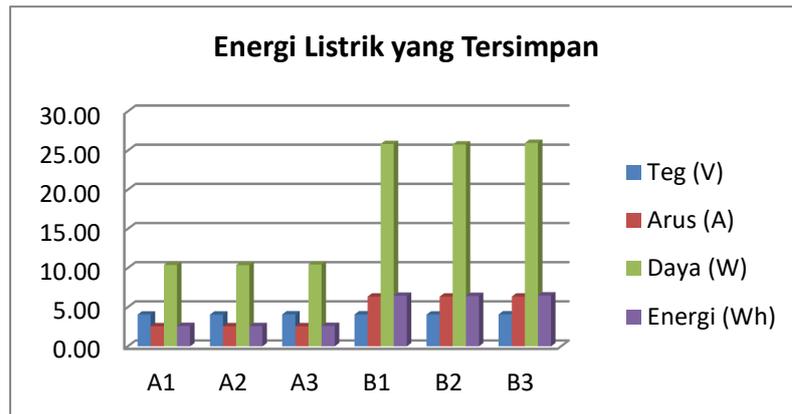


Gambar 6. Pengukuran Tegangan Baterai Dengan BMS

Dari pengukuran tegangan pada masing-masing baterai baik yang menggunakan BMS maupun dengan BMS belum terlihat perbedaan signifikan pengaruh pemakaian BMS. Sedangkan besaran arus pengisian baterai terlihat perbedaan arus pada baterai yang menggunakan BMS lebih besar dibandingkan tanpa BMS. Hal ini berpengaruh terhadap besarnya energi listrik yang tersimpan di baterai. Hasil perhitungannya diperlihatkan tabel 3 dan digambarkan seperti gambar 7.

Tabel 3. Energi Listrik yang Tersimpan di Baterai

Baterai	Teg (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)
A1	4.06	2.56	10.39	2.60
A2	4.05	2.56	10.37	2.59
A3	4.08	2.56	10.44	2.61
B1	4.07	6.35	25.84	6.46
B2	4.06	6.35	25.78	6.45
B3	4.09	6.35	25.97	6.49



Gambar 7. Energi Listrik Tersimpan di Baterai

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengukuran dan analisis pengaruh pemasangan BMS pada baterai lithium 18650 pada penerapan PLTS disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Pengaruh BMS terhadap tegangan baterai pada masing-masing hubungan paralel dan seri hampir sama dengan tanpa BMS.
- 2) Pengaruh BMS terlihat pada besaran arus pengisian, yang menggunakan BMS lebih besar arusnya dibandingkan tanpa BMS sehingga energi listrik yang bisa disimpan ke baterai juga lebih besar. Energi listrik yang tersimpan pada baterai tanpa BMS adalah 7.80 Wh sedangkan baterai dengan BMS besarnya adalah 19.40 Wh.

6. REFERENSI

- [1] Amir Hossein Ranjbar. Anahita Banei. Amir Khoobroo. Babak Fahimi. *Online Estimation of State of Charge in Li-Ion Batteries Using Impulse Response Concept*. IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 1. March 2012
- [2] Bakhtiar, Tadjuddin, Ruslan, “Pengembangan Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Sumber Energi Listrik pada Saat Beban Puncak PLN”, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri IV Politeknik ATI, pp 167-173, November 15-16, 2016.
- [3] Bakhtiar, Tadjuddin, “Optimalisasi Pengontrolan Pengisian Baterai Hibrid PLTS-PLN pada Waktu Beban Puncak”, Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, pp. 170-175, November 10-11, 2018.
- [4] Bakhtiar, Tadjuddin, “Peningkatan Efisiensi Pengisian Baterai Pembangkit Listrik Tenaga Surya”, Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, pp. 131-136, November 2-3, 2019.
- [5] Muhammad Otong, Didik Aribowo, Rizky Wahyudi, “Perancangan Modular Baterai Lithium Ion untuk Beban Lampu Led” Jurnal Ilmiah Setrum. Volume 8, No.2, pp. 260-273, Desember 2019.
- [6] Reza Pahlevid, “Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya”, Skripsi Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta, Januari 28, 2015
- [7] Rois AR, Gunawan, Chayun, “Analisa Performasi dan Monitoring Solar Photovoltaic System (SPS)”, Jurnal Teknik Pomits Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2016
- [8] Weigui Ji. Xi Lu. Yuan Ji. Yingbin Tang. Feng Ran. Fan Zheng Peng. *Low Cost Battery Equalizer Using Buck-Boost and Series LC Converter with Synchronous Phase-Shift Control* _Applied Power Electronic Conference and Exposition (APEC). March 2013.