

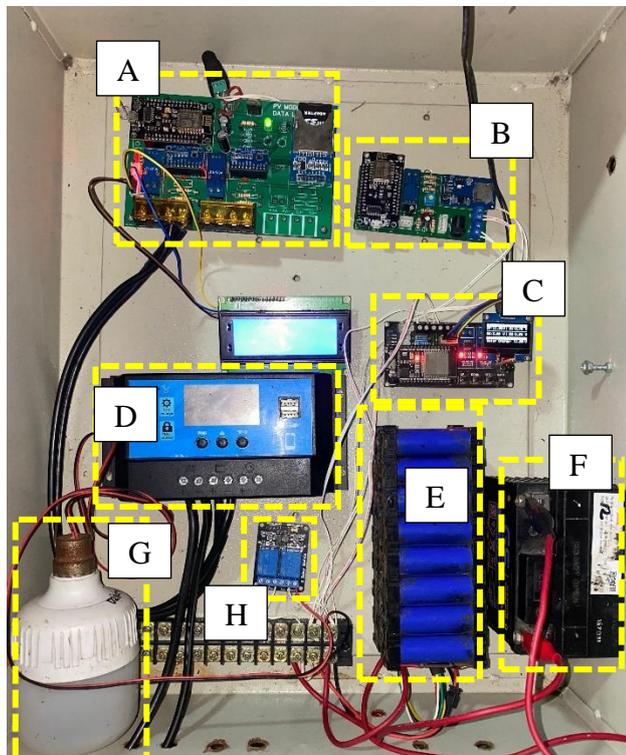
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Alat

Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem yang dapat merekam perilaku pengisian dan pengosongan 2 buah baterai dengan menggunakan panel surya sebagai sumber energi. Sistem ini menggabungkan beberapa perangkat untuk mencatat data pengisian dan pengosongan baterai guna mengetahui efisiensi proses pengisian dan pengosongan.

Beberapa sensor digunakan dalam penelitian ini untuk memantau parameter baterai seperti tegangan, arus, dan kapasitas. Informasi dari sensor-sensor ini diintegrasikan dalam sistem perekaman data (*data logger*) untuk memantau dan mencatat performa baterai secara keseluruhan. Komponen sistem perekaman data dirancang melalui perangkat lunak khusus untuk menyusun rangkaian yang dibutuhkan. Sistem ini diaplikasikan panel *box* sebagai bagian dari sistem keseluruhan, seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sistem Keseluruhan *Battery Monitoring System*

Gambar 4.1 merupakan tampilan dari keseluruhan sistem yang terdiri dari beberapa komponen penting untuk pengelolaan data daya yang tersimpan pada kotak panel. Gambar tersebut memperlihatkan sistem manajemen daya yang mencakup berbagai komponen penting untuk pemantauan dan pengendalian energi dari sumber surya dan baterai. (A) *Data logger* Panel Surya mengumpulkan data dari panel surya untuk memantau performa energi yang dihasilkan. (B) *Data logger* VRLA mencatat parameter baterai VRLA, dan (C) *data logger lithium-ion* memantau kondisi baterai *lithium-ion*. (D) SCC mengatur pengisian daya dari panel surya ke baterai, memastikan proses pengisian yang aman. (E) Baterai *lithium-ion* dan (F) Baterai VRLA menyimpan energi untuk digunakan saat dibutuhkan, sementara (G) beban lampu DC 12V 25Watt menggunakan daya dari sistem sebagai beban pengujian. (H) *Relay 2 channel* mengendalikan sirkuit untuk distribusi daya ke beban tertentu. Kombinasi komponen ini memungkinkan manajemen energi yang efisien, pemantauan *real-time*, dan pengendalian distribusi daya dalam sistem.

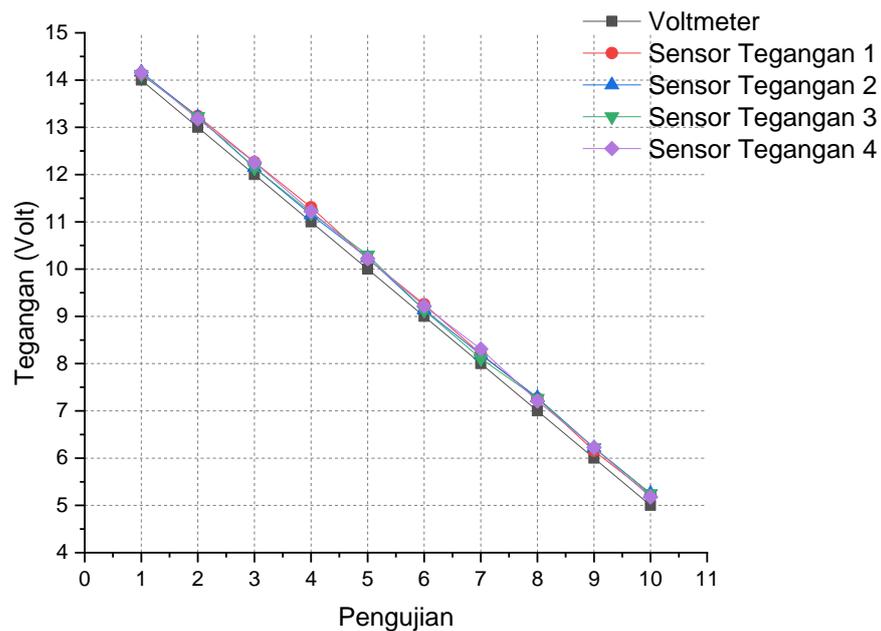
4.2 Pengujian Parsial

Pengujian dilakukan berdasarkan masing-masing bagian komponen pendukung sistem *data logger*, kemudian mengolah dan menganalisis hasilnya. Untuk mencapai kesimpulan, hasil data diperiksa secara teoritis dan digunakan sebagai acuan dalam diskusi. Pengujian parsial dilakukan untuk mengetahui apakah komponen pendukung sistem *data logger* berfungsi dengan baik dan tepat. Pengujian parsial dilakukan pada beberapa komponen penelitian:

1. Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan mengetahui apakah nilai yang sensor telah baca sesuai dengan nilai yang diberikan, kemudian diukur menggunakan alat ukur pembanding yaitu multimeter.
2. Pengujian sensor arus dilakukan untuk memastikan akurasi dan keandalan sensor dalam mendeteksi nilai arus yang sebenarnya. Proses pengujian ini dimulai dengan membandingkan nilai arus yang dibaca oleh sensor dengan nilai arus referensi yang diberikan dalam kondisi terkendali. Hasil pembacaan sensor diverifikasi dengan menggunakan alat ukur pembanding, yaitu multimeter yang dikenal memiliki tingkat akurasi tinggi.

4.2.1 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan berasal dari *power supply* dilakukan menggunakan rangkaian pembagi tegangan untuk menilai akurasi sensor dan alat ukur dalam rentang tegangan 5 V hingga 14 V, dengan perbandingan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter sebagai alat ukur pembanding. Hasil mengenai pengujian sensor tegangan dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4.2.



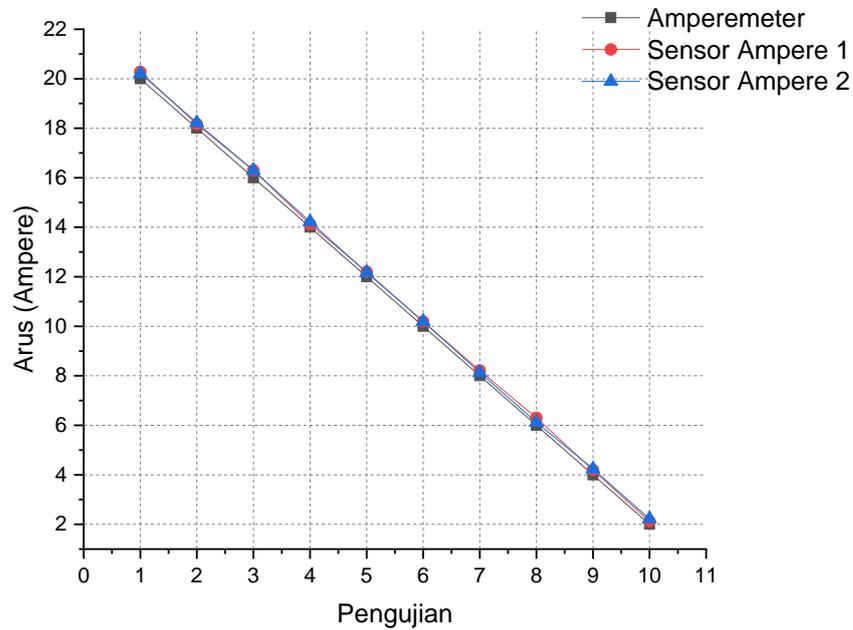
Gambar 4.2 Pengujian Sensor Tegangan

Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian sensor tegangan, di mana grafik tersebut membandingkan hasil pembacaan sensor dengan multimeter untuk menilai akurasi sensor dalam rentang tegangan 5 V hingga 14 V. Grafik ini memperlihatkan seberapa dekat hasil sensor dengan pembacaan standar, yang penting untuk memastikan keandalan sensor dalam aplikasi seperti sistem *photovoltaic*.

4.2.2 Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus ACS712 dilakukan dengan tujuan menilai tingkat akurasi sensor arus dan alat ukur yang digunakan. Pengujian ini sumber arus berasal dari *power supply* dengan rentang arus yang digunakan berkisar antara 2 A hingga 20 A. Pengujian ini membantu memastikan bahwa sensor arus ACS712 mampu

memberikan pembacaan yang akurat dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi arus yang diuji. Hasil mengenai pengujian sensor tegangan dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4.3.



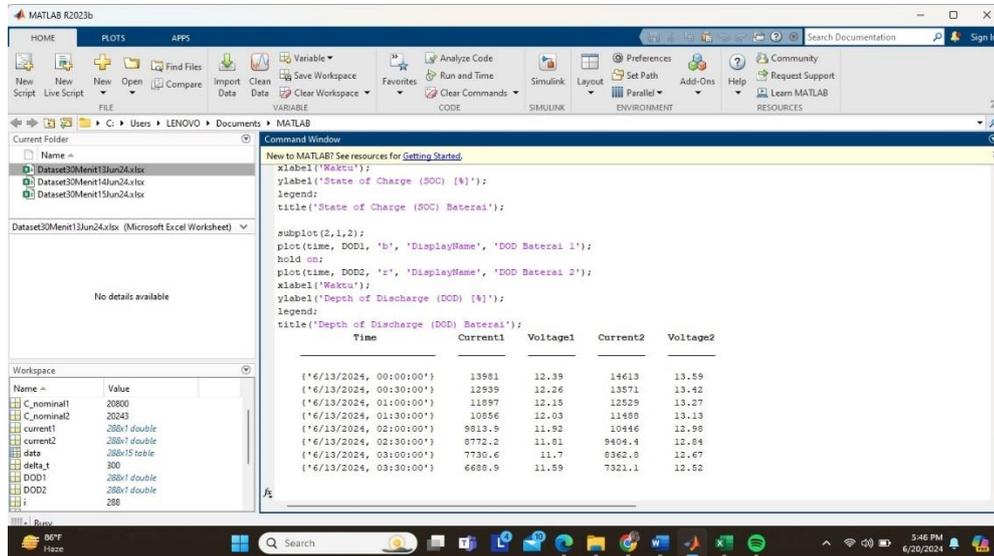
Gambar 4.3 Pengujian Sensor Arus

Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian sensor arus ACS712. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat nilai perbandingan antara hasil pembacaan sensor dengan hasil pembacaan alat ukur. Grafik ini menunjukkan bagaimana sensor arus ACS712 memiliki performa dalam rentang arus 2 A hingga 20 A, dan memberikan gambaran mengenai tingkat akurasi sensor dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan hasil pembacaan multimeter sebagai alat ukur pembanding. Analisis dari grafik ini membantu dalam menilai keandalan dan ketepatan sensor arus ACS712 dalam kondisi operasional yang berbeda.

4.3 Pengujian Integrasi

Pengujian integrasi dalam analisis perbandingan performa antara baterai VRLA 20 Ah dan baterai *lithium-ion* 20 Ah pada sistem *photovoltaic* merupakan tahap penting dalam evaluasi sistem tenaga surya. Tujuan pengujian ini adalah memastikan bahwa kedua jenis baterai dapat beroperasi secara optimal dalam kondisi operasional yang serupa, serta mengevaluasi efektivitas kinerja masing-masing baterai ketika diintegrasikan dalam sistem *photovoltaic*. Proses ini *data*

logger diaktifkan secara menyeluruh untuk mengumpulkan data mengenai pengisian daya, pengosongan, dan efisiensi energi dari kedua jenis baterai. Perhitungan menggunakan Matlab dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Perhitungan *Coulomb Counting* Menggunakan Matlab

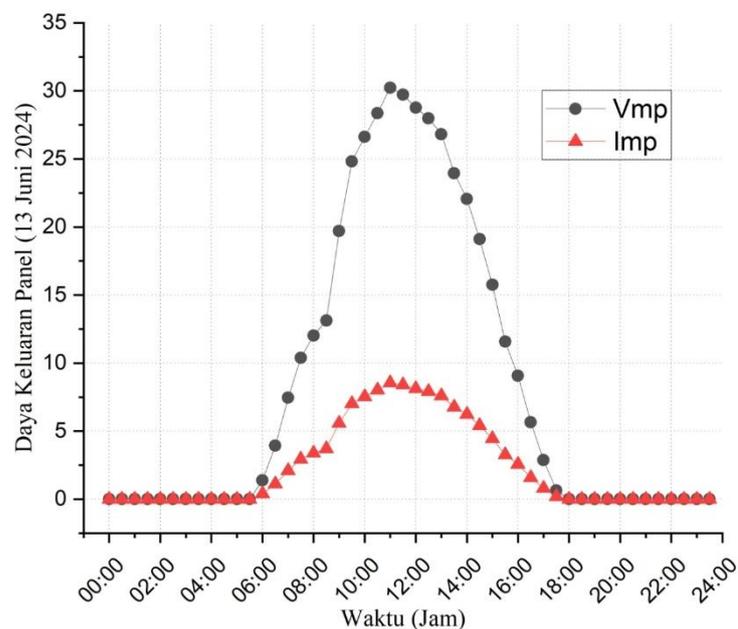
Gambar 4.4 menunjukkan antarmuka Matlab yang digunakan untuk mengolah data pengujian baterai. Data ini diunggah ke Matlab untuk menghasilkan grafik SOC dan DOD, yang memberikan gambaran visual tentang keandalan dan efisiensi baterai VRLA dan *lithium* dalam sistem *photovoltaic*. Grafik tersebut membantu mengevaluasi performa kedua baterai dalam menyimpan dan melepaskan energi, penting untuk menentukan pilihan baterai terbaik dalam aplikasi energi terbarukan.

4.4 Perekaman Data Daya Panel Surya

Data daya panel surya memainkan peran penting dalam memahami respons panel terhadap variasi intensitas cahaya, perubahan tegangan maksimum daya (V_{mp}) dan arus maksimum daya (I_{mp}) di berbagai tingkat pencahayaan, kita dapat menganalisis efisiensi dan kinerja panel surya dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Hubungan antara V_{mp} dan I_{mp} memberikan wawasan mengenai titik operasi optimal di mana panel menghasilkan daya maksimal.

Dalam kondisi pencahayaan yang tinggi, umumnya V_{mp} dan I_{mp} meningkat, yang mengarah pada peningkatan daya *output* panel surya. Sebaliknya, pada

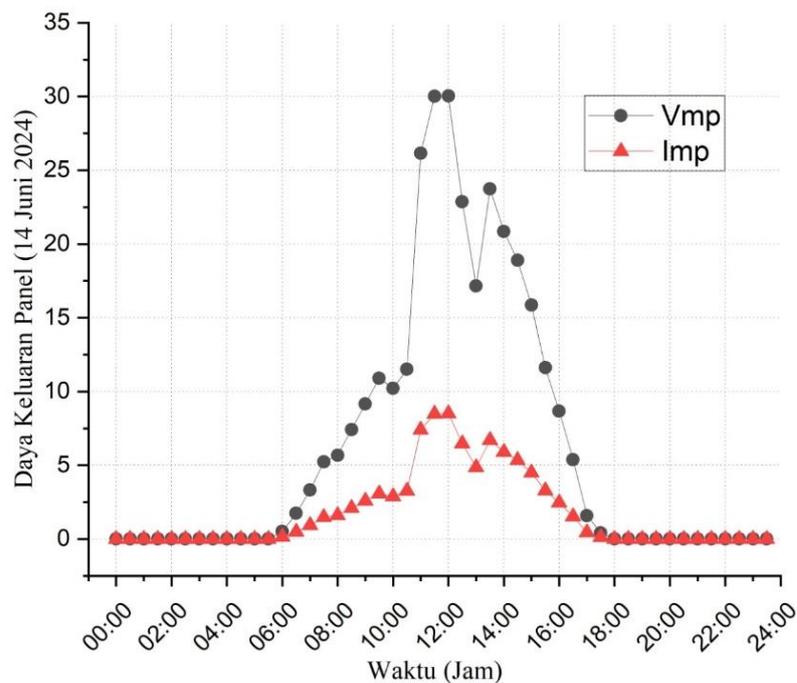
intensitas cahaya yang rendah, penurunan V_{mp} dan I_{mp} dapat terjadi, mengindikasikan berkurangnya *output* daya. Grafik yang menggambarkan dinamika V_{mp} dan I_{mp} seiring waktu atau perubahan intensitas cahaya ini, membantu dalam menentukan parameter operasional yang optimal dan adaptasi sistem *photovoltaic* untuk memaksimalkan efisiensi energi. Analisis ini juga penting untuk mendukung desain sistem yang lebih responsif terhadap fluktuasi lingkungan, sehingga dapat meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi pemanfaatan energi matahari. Grafik data daya keluaran panel pada tanggal 13 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Data Daya Keluaran Panel pertama

Gambar 4.5 menunjukkan grafik menampilkan data daya keluaran panel pada tanggal 13 Juni 2024 memperlihatkan hubungan antara V_{mp} dan I_{mp} . Pada awal dan akhir data V_{mp} dan I_{mp} konstan pada nilai yang sangat rendah, yaitu 0,004 V dan 0,004 A, yang sesuai dengan kurva hampir datar di awal dan akhir grafik, mencerminkan kondisi dengan intensitas cahaya yang sangat rendah atau saat modul PV tidak aktif. Seiring peningkatan intensitas cahaya atau waktu, kedua nilai mulai meningkat misalnya, V_{mp} mencapai 1,390 V dan I_{mp} 0,396 A, yang terlihat pada grafik sebagai bagian awal dari peningkatan kurva. Nilai-nilai ini terus meningkat hingga mencapai puncaknya pada V_{mp} 30,241 V dan I_{mp} 8,556 A, menandai titik daya *Maximum Power Point* (MPP) di grafik, di mana modul PV

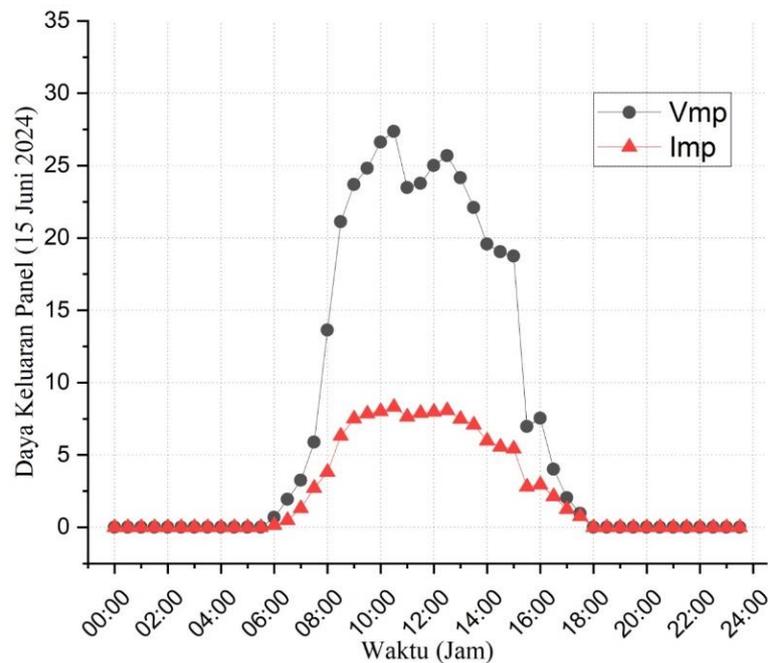
menghasilkan daya maksimum. Setelah mencapai puncak ini, nilai V_{mp} dan I_{mp} menurun secara simetris V_{mp} menurun menjadi 29,725 V dan 28,758 V, sementara I_{mp} menurun menjadi 8,411 A dan 8,137 A sesuai dengan bagian menurun dari kurva di grafik, yang menunjukkan penurunan intensitas cahaya. Grafik menggambarkan kinerja dinamis modul PV sepanjang waktu atau intensitas cahaya, menunjukkan perubahan dari tegangan dan arus yang rendah di awal, peningkatan menuju puncak daya maksimum dan penurunan kembali yang penting untuk optimasi sistem PV, khususnya dalam pengaturan pengendali MPPT untuk mempertahankan operasi modul pada titik daya maksimum meski intensitas cahaya bervariasi. Grafik data daya keluaran panel pada tanggal 14 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Data Daya Keluaran Panel kedua

Gambar 4.6 menunjukkan grafik menampilkan data daya keluaran panel pada tanggal 14 Juni 2024 memperlihatkan hubungan antara tegangan maksimum daya (V_{mp}) dan arus maksimum daya (I_{mp}) dari sebuah modul PV, yang dianalisis melalui grafik. Pada awal data V_{mp} dan I_{mp} konstan pada nilai yang sangat rendah, yaitu 0,004 V dan 0,004 A, mencerminkan kondisi dengan intensitas cahaya yang sangat rendah atau saat modul PV tidak aktif, yang diwakili oleh bagian datar dari

grafik. Seiring peningkatan intensitas cahaya atau waktu, kedua nilai mulai meningkat, dengan V_{mp} mencapai 0,520 V dan I_{mp} 0,150 A pada titik awal peningkatan. Nilai-nilai ini terus meningkat secara progresif, seperti terlihat pada V_{mp} 7,418 V dan I_{mp} 2,101 A, hingga mencapai puncaknya pada V_{mp} 30,048 V dan I_{mp} 8,502 A, yang menandai titik daya MPP pada grafik. Kondisi modul PV menghasilkan daya maksimum, setelah mencapai puncak ini nilai V_{mp} dan I_{mp} mulai menurun, mencerminkan bagian menurun dari kurva di grafik. V_{mp} menurun menjadi 22,859 V dan I_{mp} menjadi 6,468 A, lalu terus menurun hingga mencapai nilai-nilai lebih rendah seperti V_{mp} 0,423 V dan I_{mp} 0,123 A. Penurunan ini sesuai dengan penurunan intensitas cahaya. Secara keseluruhan, grafik menggambarkan kinerja dinamis modul PV sepanjang waktu atau intensitas cahaya, menunjukkan pola perubahan dari tegangan dan arus yang rendah di awal, peningkatan menuju puncak daya maksimum, dan penurunan kembali. Hal ini penting untuk optimasi sistem PV, terutama dalam pengaturan pengendali MPPT, untuk mempertahankan operasi modul pada titik daya maksimum meskipun intensitas cahaya bervariasi. Grafik data daya keluaran panel pada tanggal 15 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.7.



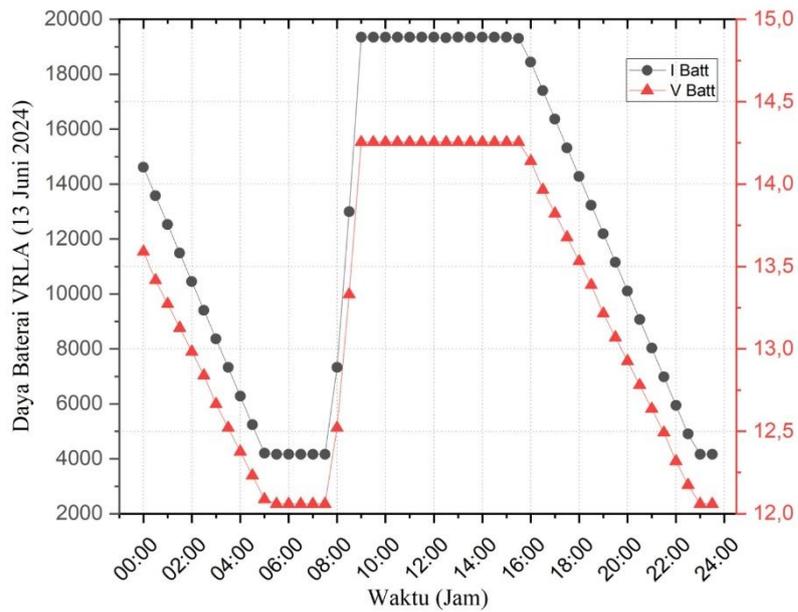
Gambar 4.7 Grafik Data Daya Keluaran Panel ketiga

Gambar 4.7 menunjukkan grafik menampilkan data daya keluaran panel pada tanggal 15 Juni 2024 memperlihatkan hubungan antara V_{mp} dan I_{mp} dari sebuah modul PV pada berbagai tingkat intensitas cahaya atau waktu dalam satu hari. Pada awal dan akhir pengukuran, nilai V_{mp} dan I_{mp} konstan pada 0,004 V dan 0,004 A. Kondisi ketika modul PV tidak aktif atau ketika intensitas cahaya sangat rendah, yang terlihat dalam kurva sebagai bagian datar di awal dan akhir grafik.

Seiring dengan peningkatan intensitas cahaya, nilai V_{mp} dan I_{mp} pada modul PV mengalami kenaikan. Pada tahap awal, V_{mp} mencapai 0,520 V dan I_{mp} 0,150 A, yang kemudian meningkat menjadi 7,418 V dan 2,101 A, menunjukkan efektivitas modul PV dalam memanfaatkan cahaya. Puncak kinerja tercapai pada V_{mp} 30,048 V dan I_{mp} 8,502 A, yang merupakan titik daya maksimum MPP dari modul PV. Setelah mencapai puncak, V_{mp} dan I_{mp} mulai menurun seiring dengan menurunnya intensitas cahaya, misalnya turun menjadi 22,859 V dan 6,468 A, hingga akhirnya mencapai nilai rendah seperti 0,423 V dan 0,123 A, menandakan penurunan kinerja modul PV.

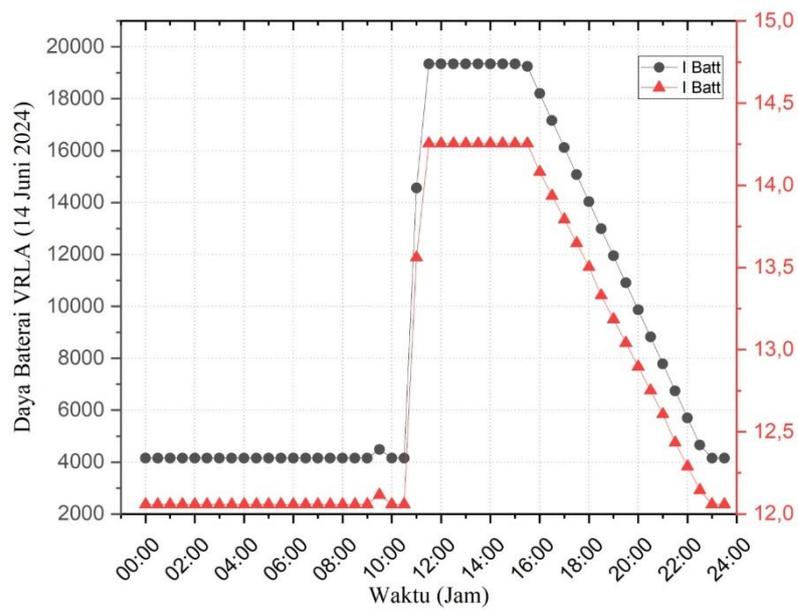
4.5 Perekaman Data Pengisian dan Pengosongan Baterai VRLA

Selama periode tanggal 13 hingga 15 Juni 2024, dilakukan pengamatan intensif terhadap kinerja baterai VRLA dalam sistem *photovoltaic*. Data yang dikumpulkan mencakup durasi waktu yang diperlukan untuk mengisi baterai VRLA dari tingkat awal hingga mencapai kapasitas penuh. Pengukuran juga dilakukan terhadap waktu yang diperlukan untuk pengosongan baterai, yaitu dari kondisi penuh hingga mencapai tingkat tertentu selama siklus harian. Pemantauan dilakukan secara kontinu selama 72 jam untuk mendapatkan gambaran yang akurat mengenai efisiensi proses pengisian dan pengosongan, serta untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi performa baterai dalam kondisi operasional yang berbeda-beda. Data ini penting untuk mengevaluasi seberapa baik baterai VRLA dapat mempertahankan kapasitas dan kinerja energinya dalam penggunaan harian pada sistem PV. Grafik data daya baterai VRLA pada tanggal 13 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.8.



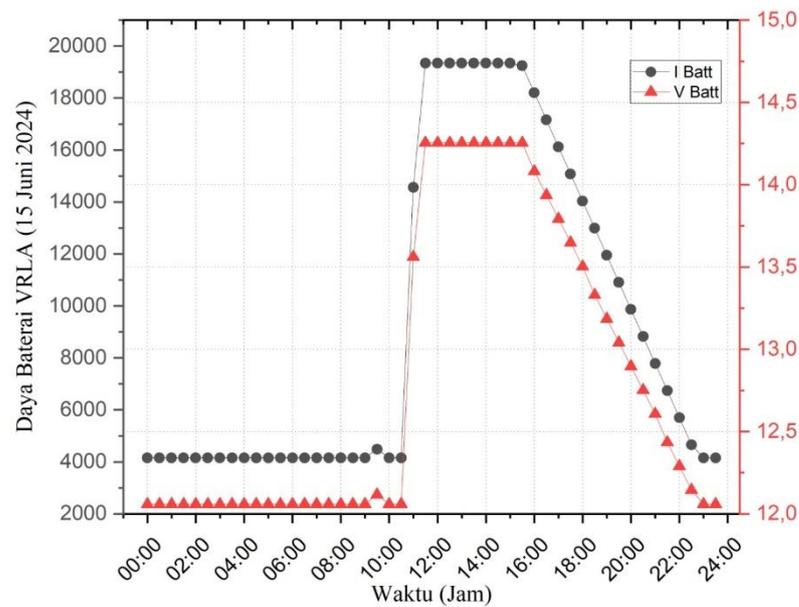
Gambar 4.8 Grafik Data Daya Baterai VRLA pertama

Gambar 4.8 menunjukkan grafik pada tanggal 13 Juni 2024, pola penggunaan dan pengisian baterai VRLA terlihat jelas. Pukul 00:00 hingga 08:00, terjadi pengosongan baterai di mana arus menurun dari 14612,76 mAh hingga mencapai 4156 mAh, sementara tegangan turun dari 13,59 V ke 12,06 V. Selama periode ini, baterai mengalami pengosongan yang signifikan. Pada pukul 08:00 hingga 10:00, arus dan tegangan stabil di 4156 mAh dan 12,06 V, hal ini menunjukkan periode baterai tidak digunakan secara intensif. Periode pengisian yang terjadi dari pukul 10:00 hingga 14:00, arus naik tajam dari 4156 mAh ke 19345 mAh, dan tegangan naik dari 12,06 V ke 14,26 V, kondisi ini menunjukkan pengisian daya yang efisien. Pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan stabil di 19345 mAh dan 14,26 V, menandakan bahwa baterai telah terisi penuh dan siap untuk digunakan kembali. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00 arus baterai menurun dari 19.345 mAh menjadi 4.156 mAh, sementara tegangan turun dari 14,26 V ke 12,06 V. Penurunan ini menunjukkan pengosongan daya baterai akibat penggunaan energi selama periode tersebut. Arus yang menurun mencerminkan berkurangnya jumlah energi yang tersimpan, dan tegangan yang menurun menandakan bahwa baterai semakin mendekati kondisi pelepasan penuh, hal ini menunjukkan pengosongan daya akibat penggunaan. Grafik data daya baterai VRLA pada tanggal 14 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Data Daya Baterai VRLA kedua

Gambar 4.9 menunjukkan grafik pada tanggal 14 Juni 2024, pola pengosongan dan pengisian baterai VRLA mengikuti siklus yang mirip dengan hari sebelumnya. Pukul 00:00 hingga 08:00 nilai arus dan tegangan stabil pada 4156 mAh dan 12,06 V menunjukkan periode baterai tidak digunakan secara intensif. Pada pukul 08:00 hingga 10:00 nilai arus dan tegangan tetap stabil, mengindikasikan bahwa baterai masih dalam kondisi siap digunakan. Pukul 10:00 hingga 14:00, terjadi peningkatan arus dari 4156 mAh ke 19345 mAh dan tegangan dari 12,06 V ke 14,26 V, hal ini yang menunjukkan pengisian daya yang efisien. Setelah baterai terisi penuh, dari pukul 14:00 hingga 18:00 arus dan tegangan stabil di 19345 mAh dan 14,26 V. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan menurun menjadi 4156 mAh dan 12,06 V. Penurunan ini menunjukkan bahwa energi dalam baterai sedang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sistem selama tidak ada sinar matahari. Pola ini konsisten dengan siklus harian sebelumnya, di mana baterai mengisi daya pada siang hari dan mengosongkannya pada malam hari. Kondisi ini menunjukkan bahwa baterai bekerja dengan baik dalam mendukung kebutuhan energi selama malam hari. Grafik data daya baterai VRLA pada tanggal 15 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.10.

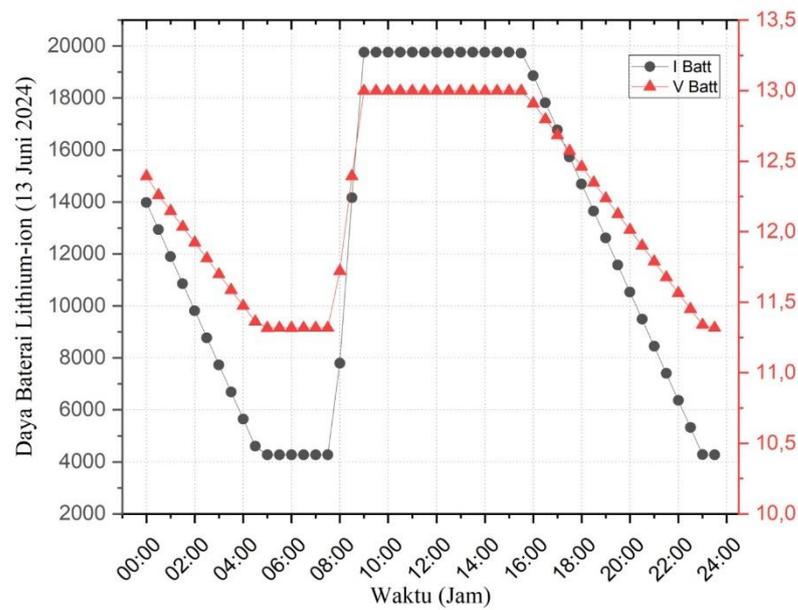


Gambar 4.10 Grafik Data Daya Baterai VRLA ketiga

Gambar 4.10 menunjukkan grafik pada tanggal 15 Juni 2024, baterai VRLA kembali menunjukkan pola siklus harian yang serupa. Pukul 00:00 hingga pukul 08:00, arus dan tegangan stabil di 4156 mAh dan 12,06 V, menunjukkan bahwa baterai berada dalam kondisi siap digunakan namun tidak digunakan secara intensif. Pukul 08:00 hingga pukul 10:00, arus dan tegangan tetap stabil, menunjukkan konsistensi dalam penggunaan daya. Pukul 10:00 hingga pukul 14:00, terjadi peningkatan arus dari 4156 mAh ke 19345 mAh dan tegangan dari 12,06 V ke 14,26 V, menunjukkan proses pengisian daya yang efisien dan cepat. Setelah pengisian, dari pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan stabil di 19345 mAh dan 14,26 V, menandakan bahwa baterai siap untuk digunakan kembali. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan kembali menurun ke 4156 mAh dan 12,06 V mengikuti pola pengosongan yang konsisten setiap harinya.

4.6 Perekaman Data Pengisian dan Pengosongan Baterai *Lithium-ion*

Selama periode tanggal 13 hingga 15 Juni 2024, dilakukan pengumpulan data mengenai durasi pengisian baterai *lithium-ion* dari tingkat awal hingga mencapai kapasitas penuh, serta waktu yang diperlukan untuk pengosongan baterai dari kondisi penuh hingga tingkat tertentu selama periode 72 jam. Grafik data daya baterai *lithium-ion* pada tanggal 13 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.11.

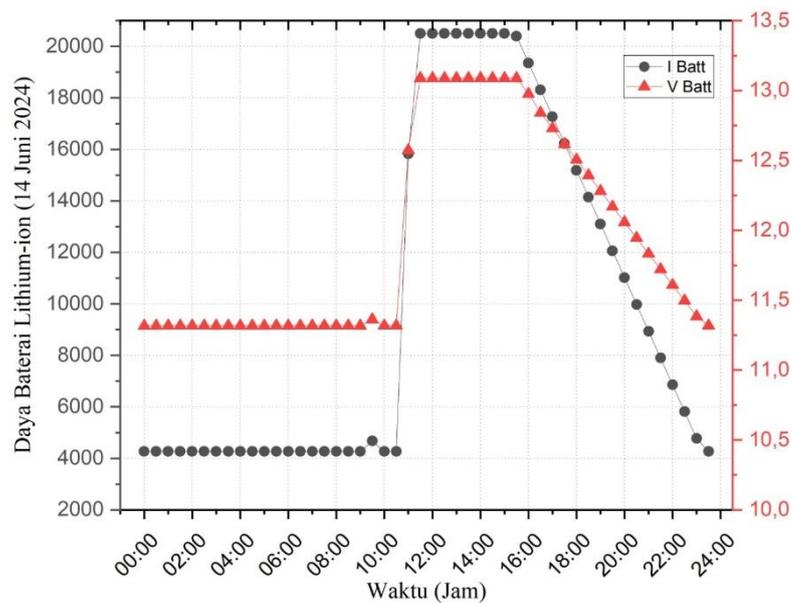


Gambar 4.11 Grafik Data Daya Baterai *Lithium-ion* pertama

Gambar 4.11 menunjukkan grafik pada tanggal 13 Juni 2024, pola penggunaan dan pengisian baterai *lithium-ion* mengikuti siklus harian yang khas. Dimulai dari pukul 00:00 hingga 08:00, grafik menunjukkan penurunan arus dari sekitar 14612,76 mA ke 4156 mA dan tegangan baterai dari 13,59 V ke 12,06 V. Penurunan ini mengindikasikan pengosongan baterai yang signifikan karena penggunaan daya selama malam hari. Pukul 08:00 hingga 10:00, baik arus maupun tegangan stabil di sekitar 4156 mA dan 12,06 V, yang menunjukkan bahwa baterai tidak digunakan secara intensif atau berada dalam kondisi relatif tidak aktif. Selama periode ini, tidak ada pengisian daya yang berarti, yang mencerminkan stabilitas dalam penggunaan daya.

Periode pengisian daya berlangsung dari pukul 10:00 hingga 14:00. Selama waktu ini, arus meningkat tajam dari 4156 mA ke 19345 mA, dan tegangan naik dari 12,06 V ke 14,26 V. Kenaikan ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi dengan efisiensi tinggi, menandakan pemulihan daya yang signifikan untuk digunakan di kemudian waktu. Pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan tetap stabil di 19345 mA dan 14,26 V, menandakan bahwa baterai telah terisi penuh dan siap digunakan kembali. Stabilitas ini menunjukkan bahwa proses pengisian telah selesai, dan baterai berada dalam kondisi optimal untuk penyimpanan energi.

Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, terjadi kembali penurunan arus dari 19345 mA ke 4156 mA dan tegangan dari 14,26 V ke 12,06 V. Penurunan ini menunjukkan penggunaan baterai selama malam hari, sesuai dengan pola pengosongan daya yang terlihat di awal hari. Grafik ini memberikan wawasan tentang siklus harian dari pengosongan hingga pengisian baterai, yang penting untuk manajemen daya yang efektif. Grafik data daya baterai *lithium-ion* pada tanggal 14 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Data Daya Baterai *Lithium-ion* kedua

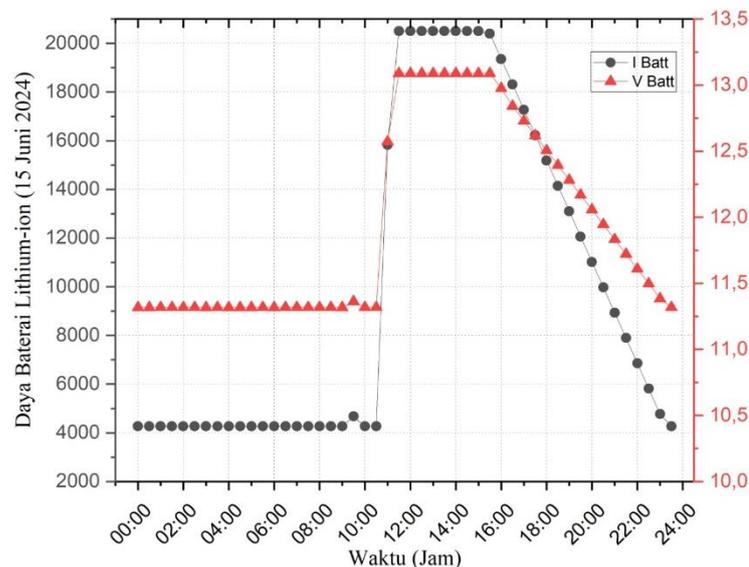
Gambar 4.12 menunjukkan grafik pada tanggal 14 Juni 2024, pola pengosongan dan pengisian baterai *lithium-ion* mirip dengan pola yang diamati pada tanggal 13 Juni. Grafik menunjukkan arus dan tegangan baterai pada interval waktu yang berbeda. Pukul 00:00 hingga 08:00, baik arus dan tegangan stabil di sekitar 4156 mA dan 12,06 V. Periode ini menandakan baterai tidak digunakan secara intensif, mungkin karena beban daya yang rendah atau tidak adanya penggunaan daya yang signifikan.

Pada pukul 08:00 hingga 10:00, arus dan tegangan tetap stabil, mencerminkan bahwa tidak ada perubahan signifikan dalam penggunaan daya atau kondisi baterai. Ini menunjukkan kondisi stabil di mana baterai siap digunakan. Selama periode dari pukul 10:00 hingga 14:00, terjadi peningkatan tajam pada arus dari 4156 mA ke 19345 mA dan tegangan dari 12,06 V ke 14,26 V. Kenaikan ini menandakan fase

pengisian yang efisien, dengan baterai yang diisi daya dengan cepat hingga mencapai kapasitas maksimum.

Setelah pukul 14:00, baik arus maupun tegangan stabil di 19345 mA dan 14,26 V hingga pukul 18:00, menunjukkan bahwa baterai telah terisi penuh dan dalam kondisi siap untuk digunakan. Stabilitas ini mencerminkan bahwa pengisian telah selesai dan baterai berada dalam kondisi optimal.

Pada malam hari, pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan menurun kembali ke 4156 mA dan 12,06 V. Penurunan ini menandakan bahwa baterai digunakan kembali, mengikuti pola pengosongan yang serupa dengan hari sebelumnya. Grafik data daya baterai *lithium-ion* pada tanggal 15 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik Data Daya Baterai *Lithium-ion* ketiga

Gambar 4.13 menunjukkan grafik pada tanggal 15 Juni 2024, grafik menunjukkan pola penggunaan dan pengisian baterai *lithium-ion* yang khas, mengikuti siklus harian. Pukul 00:00 hingga sekitar pukul 08:00, arus tetap stabil di sekitar 4000 mA dan tegangan baterai berada di sekitar 10,8 V. Stabilitas ini menunjukkan bahwa selama periode ini, baterai tidak mengalami penggunaan atau pengisian yang signifikan.

Pada pukul 08:00 hingga 10:00, terjadi peningkatan tajam dalam arus dan tegangan baterai. Arus meningkat dari sekitar 4000 mA ke 18000 mA, sementara

tegangan naik dari sekitar 10.8 V ke 13.2 V. Peningkatan ini menandakan awal dari proses pengisian daya, di mana modul PV mulai menghasilkan daya lebih banyak akibat peningkatan intensitas cahaya.

Pukul 10:00 hingga 14:00, baik arus maupun tegangan mencapai puncaknya dan tetap stabil di sekitar 18000 mA dan 13.2 V. Stabilitas ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi dengan efisiensi tinggi dan berada dalam kondisi pengisian optimal. Periode ini menandakan bahwa baterai sedang diisi dengan kapasitas penuh untuk mempersiapkan penggunaan di malam hari.

Mulai pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan mulai menurun secara bertahap. Arus menurun dari 18000 mA ke sekitar 4000 mA, dan tegangan turun dari 13.2 V ke sekitar 11.0 V. Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya intensitas cahaya dan penggunaan daya dari baterai untuk berbagai keperluan selama sore hingga malam hari.

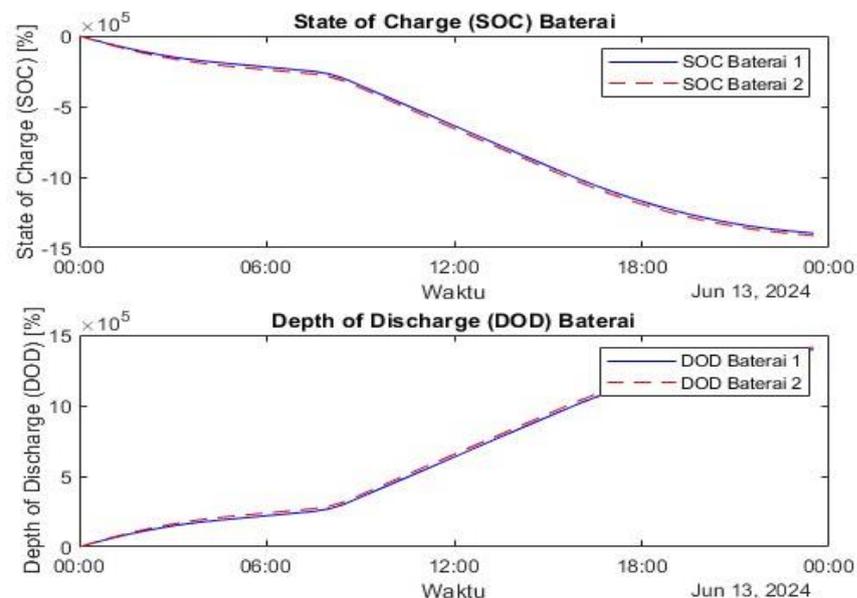
Pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan terus menurun hingga mencapai nilai terendah di sekitar 4000 mA dan 10.8 V. Penurunan ini menunjukkan penggunaan baterai selama malam hari, mengindikasikan pengosongan daya yang konsisten dengan siklus harian penggunaan dan pengisian baterai VRLA. Grafik ini memberikan gambaran yang jelas tentang siklus harian dari pengosongan hingga pengisian baterai, yang penting untuk manajemen daya yang efektif.

4.7 Perhitungan *Coulomb Counting* Data Baterai

Pola pengisian dan penggunaan baterai VRLA dan baterai *lithium-ion* berdasarkan grafik yang diambil pada tanggal 13 Juni 2024 dan 15 Juni 2024. Analisis ini memberikan wawasan tentang siklus harian dari pengisian hingga pengosongan baterai, serta efektivitas manajemen daya yang diterapkan. Data yang ditampilkan dalam grafik tersebut mencerminkan fluktuasi arus dan tegangan selama total periode 72 jam, yang diukur menggunakan metode *Coulomb Counting*. Metode ini memungkinkan pemantauan yang akurat terhadap SOC dan DOD dari kedua jenis baterai, yang diperoleh dari perhitungan menggunakan MATLAB. Analisis ini sangat penting untuk memastikan kinerja optimal dan umur panjang dari sistem penyimpanan energi, terutama dalam aplikasi yang memerlukan keandalan tinggi seperti pada sistem *photovoltaic*, dengan memahami nilai SOC

dan DOD, dapat mengelola penggunaan baterai secara lebih efisien, menghindari kondisi *overcharge* atau *overdischarge* yang dapat merusak sel-sel baterai, dan akhirnya memperpanjang masa pakai baterai. Selain itu, pemantauan yang akurat terhadap SOC dan DOD memungkinkan optimisasi strategi pengisian dan pengosongan, yang pada gilirannya akan meningkatkan keseluruhan efisiensi sistem energi.

Hasil perhitungan SOC dan DOD yang diambil pada tanggal 13 Juni 2024, memberikan gambaran yang jelas tentang performa baterai dalam kondisi operasional tertentu. Analisis ini penting untuk memastikan kinerja optimal dan umur panjang dari sistem penyimpanan energi. Hasil perhitungan SOC dan DOD pada tanggal 13 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.14.



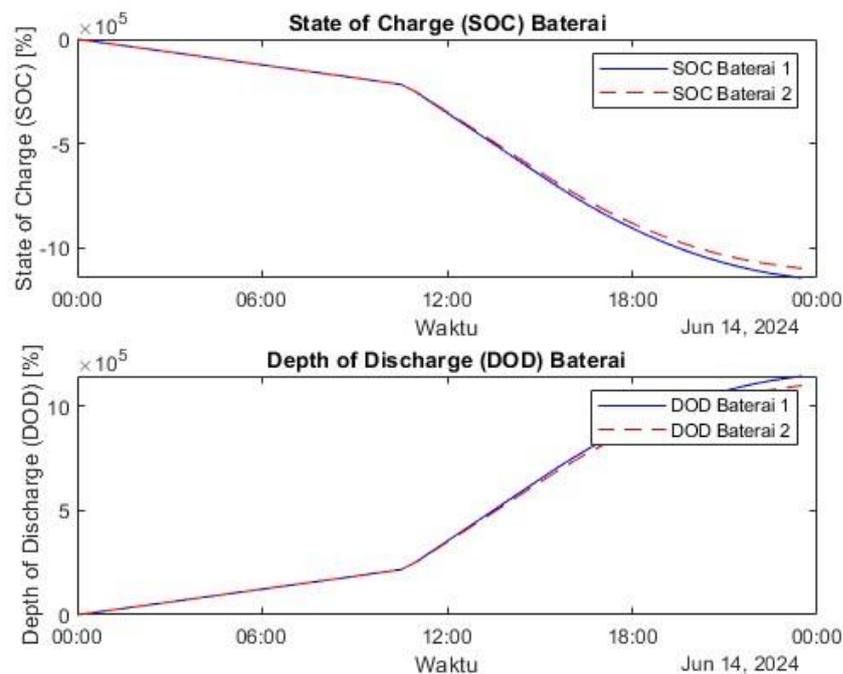
Gambar 4.14 Hasil Perhitungan SOC dan DOD pertama

Gambar 4.14 menunjukkan grafik pada tanggal 13 Juni 2024, pola penggunaan dan pengisian baterai VRLA (Baterai 1) mengikuti siklus harian yang khas. Dimulai dari pukul 00:00 hingga 08:00, grafik menunjukkan penurunan arus (I Batt) dari sekitar 14612,76 mA ke 4156 mA dan tegangan baterai dari 13,59 V ke 12,06 V. Penurunan ini mengindikasikan pengosongan baterai yang signifikan karena penggunaan daya selama malam hari. Pada pukul 08:00 hingga 10:00, baik arus maupun tegangan stabil di sekitar 4156 mA dan 12,06 V, yang menunjukkan bahwa baterai tidak digunakan secara intensif atau berada dalam kondisi yang

relatif tidak aktif. Selama periode ini, tidak ada pengisian daya yang berarti, yang mencerminkan stabilitas dalam penggunaan daya.

Periode pengisian daya berlangsung dari pukul 10:00 hingga 14:00. Selama waktu ini, arus meningkat tajam dari 4156 mA ke 19345 mA, dan tegangan naik dari 12,06 V ke 14,26 V. Kenaikan ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi dengan efisiensi tinggi, menandakan pemulihan daya yang signifikan untuk digunakan di kemudian waktu.

Pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan tetap stabil di 19345 mA dan 14,26 V, menandakan bahwa baterai telah terisi penuh dan siap digunakan kembali. Stabilitas ini menunjukkan bahwa proses pengisian telah selesai, dan baterai berada dalam kondisi optimal untuk penyimpanan energi. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, terjadi kembali penurunan arus dari 19345 mA ke 4156 mA dan tegangan dari 14,26 V ke 12,06 V. Penurunan ini menunjukkan penggunaan baterai selama malam hari, sesuai dengan pola pengosongan daya yang terlihat di awal hari. Hasil perhitungan SOC dan DOD pada tanggal 14 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.15.

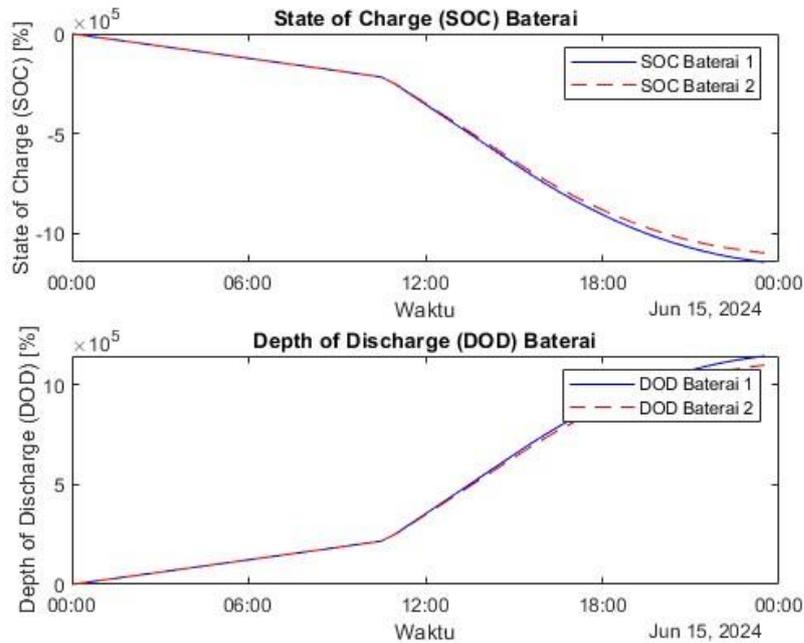


Gambar 4.15 Hasil Perhitungan SOC dan DOD kedua

Gambar 4.15 menunjukkan grafik pada tanggal 14 Juni 2024, grafik menunjukkan pola penggunaan dan pengisian baterai *lithium-ion* (Baterai 2) yang khas, mengikuti siklus harian. Dari pukul 00:00 hingga sekitar pukul 08:00, arus tetap stabil di sekitar 4000 mA dan tegangan baterai berada di sekitar 10.8 V. Stabilitas ini menunjukkan bahwa selama periode ini, baterai tidak mengalami penggunaan atau pengisian yang signifikan. Pada pukul 08:00 hingga 10:00, terjadi peningkatan tajam dalam arus dan tegangan baterai. Arus meningkat dari sekitar 4000 mA ke 18000 mA, sementara tegangan naik dari sekitar 10.8 V ke 13.2 V. Peningkatan ini menandakan awal dari proses pengisian daya, di mana modul PV mulai menghasilkan daya lebih banyak akibat peningkatan intensitas cahaya. Dari pukul 10:00 hingga 14:00, baik arus maupun tegangan mencapai puncaknya dan tetap stabil di sekitar 18000 mA dan 13.2 V. Stabilitas ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi dengan efisiensi tinggi dan berada dalam kondisi pengisian optimal. Periode ini menandakan bahwa baterai sedang diisi dengan kapasitas penuh untuk mempersiapkan penggunaan di malam hari.

Pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan mulai menurun secara bertahap. Arus menurun dari 18000 mA ke sekitar 4000 mA, dan tegangan turun dari 13.2 V ke sekitar 11.0 V. Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya intensitas cahaya dan penggunaan daya dari baterai untuk berbagai keperluan selama sore hingga malam hari. Pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan terus menurun hingga mencapai nilai terendah di sekitar 4000 mA dan 10.8 V. Penurunan tersebut mencerminkan penggunaan energi dari baterai selama periode malam hari, ketika tidak ada suplai daya dari panel surya, hal ini mengindikasikan bahwa baterai *lithium-ion* mengalami pengosongan daya yang konsisten dengan pola siklus harian, yaitu proses pengisian ulang pada siang hari dan pengosongan pada malam hari. Pada tanggal 15 Juni 2024, analisis perhitungan SOC dan DOD memberikan wawasan mendalam mengenai dinamika penggunaan energi yang tersimpan dalam baterai *lithium-ion*. Proses ini menggambarkan bagaimana baterai secara bertahap melepaskan energinya sepanjang malam, mengikuti pola penggunaan yang biasa terjadi saat tidak ada pasokan dari sumber energi surya. SOC mengukur persentase energi yang tersisa di dalam baterai, sedangkan DOD menunjukkan sejauh mana baterai telah dikosongkan. Seiring dengan berjalannya waktu, nilai SOC akan

menurun hingga mencapai titik tertentu, yang kemudian menandakan bahwa baterai perlu diisi kembali. Hasil perhitungan SOC dan DOD pada tanggal 15 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Hasil Perhitungan SOC dan DOD ketiga

Gambar 4.16 menunjukkan grafik pada tanggal 15 Juni 2024, grafik SOC dan DOD memberikan wawasan yang mendalam tentang bagaimana baterai VRLA (Baterai 1) dan baterai *lithium-ion* (Baterai 2) beroperasi sepanjang hari. Grafik ini membantu kita memahami pola pengisian dan pengosongan dari kedua jenis baterai tersebut.

Baterai VRLA, pengamatan dimulai dari pukul 00:00 hingga 08:00, di mana SOC menurun secara bertahap dari sekitar 100% ke 70%. Selama periode ini, DOD meningkat dari 0% ke sekitar 30%, menunjukkan penggunaan energi yang signifikan sepanjang malam, mungkin untuk penerangan atau beban kontinu lainnya. Dari pukul 08:00 hingga 10:00, SOC dan DOD tetap stabil, masing-masing di sekitar 70% dan 30%, yang mengindikasikan bahwa baterai tidak digunakan secara intensif atau mungkin sedang berada dalam mode siaga. Kemudian, dari pukul 10:00 hingga 14:00, terjadi peningkatan signifikan pada SOC dari 70% hingga mendekati 100%, dan DOD menurun dari 30% kembali ke 0%. Ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi ulang dengan efisiensi tinggi,

memungkinkan pemulihan energi yang cepat dari penggunaan sebelumnya. Setelah pengisian, dari pukul 14:00 hingga 18:00, SOC tetap berada di sekitar 100% dan DOD di 0%, menunjukkan bahwa baterai telah terisi penuh dan siap untuk digunakan. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, SOC kembali menurun dari 100% ke sekitar 70% dan DOD meningkat dari 0% ke 30%, yang menunjukkan pola penggunaan energi malam hari yang serupa dengan awal hari.

Sebaliknya, untuk baterai *lithium-ion*, grafik menunjukkan penurunan SOC yang lebih tajam dari 100% ke sekitar 50% antara pukul 00:00 hingga 08:00, dengan DOD meningkat dari 0% ke 50%. Ini menandakan penggunaan energi yang lebih intensif, mungkin untuk aplikasi yang memerlukan daya tinggi. Dari pukul 08:00 hingga 10:00, SOC dan DOD tetap stabil di sekitar 50%, menunjukkan penggunaan yang ringan atau periode siaga. Selanjutnya, pengisian daya dari pukul 10:00 hingga 14:00 memperlihatkan peningkatan SOC yang cepat dari 50% hingga hampir 100%, dan DOD menurun dari 50% kembali ke 0%, menunjukkan bahwa baterai diisi dengan sangat efisien. Setelah pengisian, dari pukul 14:00 hingga 18:00, SOC tetap di sekitar 100% dan DOD di 0%, menunjukkan bahwa baterai dalam kondisi optimal untuk penyimpanan energi. Akhirnya, dari pukul 18:00 hingga 00:00, SOC baterai *lithium-ion* kembali menurun dengan cepat dari 100% ke sekitar 50%, dan DOD meningkat dari 0% ke 50%, menandakan penggunaan signifikan pada malam hari.

Secara keseluruhan, grafik ini mengungkapkan perbedaan penting dalam pola pengisian dan pengosongan antara baterai VRLA dan baterai *lithium-ion*. Baterai VRLA menawarkan stabilitas dengan perubahan yang lebih lambat dan konsisten, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang membutuhkan daya yang berkelanjutan dan stabil. Baterai *lithium-ion* menunjukkan dinamika yang lebih cepat dalam pengisian dan pengosongan, yang sesuai untuk aplikasi yang memerlukan respons cepat dan efisiensi energi yang tinggi. Pemahaman mendalam tentang siklus harian ini sangat penting untuk manajemen daya yang efektif dan optimalisasi penggunaan baterai dalam berbagai aplikasi.