



**PROTOTYPE *UNIT SOLAR POWER SYSTEM* (USPS) DENGAN
INTEGRASI TITIK DAYA MAKSIMUM DAN MANAJEMEN
BATERAI PADA SISTEM PANEL SURYA MANDIRI**

LAPORAN TUGAS AKHIR

RESA ALIF KURIAWAN

41421010013

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA

2025



**PROTOTYPE *UNIT SOLAR POWER SYSTEM* (USPS) DENGAN
INTEGRASI TITIK DAYA MAKSIMUM DAN MANAJEMEN
BATERAI PADA SISTEM PANEL SURYA MANDIRI**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1)

NAMA : RESA ALIF KURNIAWAN
NIM : 41421010013
PEMBIMBING : FREDDY ARTADIMA SILABAN,
S.KOM, MT

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Resa Alif Kurniawan
NIM : 41421010013
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Prototipe *Unit Solar Power System* (USPS) dengan integrasi Titik Daya Maksimum dan Sistem Manajemen Baterai pada Sistem Panel Surya Mandiri

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing : Freddy Artadima Silaban, S.Kom, MT
NUPTK : 0460769670130323

Tanda Tangan



Ketua Penguji : Muhammad Hafidz Ibnu Hajar, S.T, MSc
NUPTK : 1356769670130283



Anggota Penguji : Trie Maya Kadarina, S.T, M.T
NUPTK : 7235757658230143



Jakarta, 06 Agustus 2025

Mengetahui,

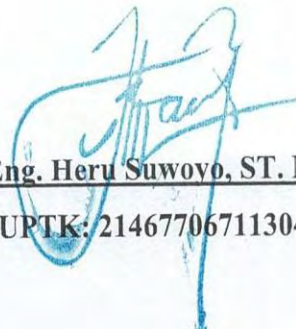
Dekan Fakultas Teknik

Kaprodi S1 Teknik Elektro



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.

NUPTK: 6639750651230132



Dr. Eng. Heru Suwoyo, ST. M.Sc

NUPTK: 2146770671130403

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Karya Ilmiah/Laporan Tugas Akhir/Skripsi pada BAB I, BAB II, BAB III, BAB IV dan BAB V atas nama:

Nama : Resa Alif Kurniawan
NIM : 41421010013
Program Studi : Teknik Elektro
**Judul Tugas Akhir /
Tesis** : **PROTOTYPE UNIT SOLAR POWER SYSTEM
(USPS) DENGAN INTEGRASI TITIK DAYA
MAKSIMUM DAN MANAJEMEN BATERAI
PADA SISTEM PANEL SURYA MANDIRI**
/ Praktek Keinsinyuran

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Rabu, 20 Agustus 2025** dengan hasil presentase sebesar **12 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 20 Agustus 2025

Administrator Turnitin,



Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Resa Alif Kurniawan
N.I.M : 41421010013
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Prototipe *Unit Solar Power System* (USPS) dengan integrasi Titik Daya Maksimum dan Sistem Manajemen Baterai pada Sistem Panel Surya Mandiri

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan plagiat, serta semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar. Apabila ternyata ditemukan di dalam Laporan Tugas Akhir saya terdapat unsur plagiat, maka saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Jakarta, 06 Agustus 2025



Resa Alif Kurniawan

ABSTRAK

Permintaan energi yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan industrialisasi masih banyak dipenuhi dari energi fosil yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Energi Baru Terbarukan (EBT), khususnya energi surya, menjadi salah satu solusi strategis dalam transisi menuju sistem energi bersih dan berkelanjutan. Indonesia memiliki potensi besar pemanfaatan energi surya melalui konversi efek fotovoltaiik pada panel surya. Namun, karakteristik keluaran panel surya yang fluktuatif, serta fenomena penurunan tegangan saat beban besar terhubung, memerlukan sistem kontrol yang mampu mengoptimalkan daya yang dihasilkan sekaligus menjaga kestabilan dan keamanan sistem.

Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengujian prototipe *Unit Solar Power System* (USPS) berbasis panel surya mandiri dengan integrasi algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) metode *Perturb and Observe* (P&O) serta *Battery Management System* (BMS). Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi penyaluran energi dari panel surya ke baterai dan beban, sekaligus memantau parameter penting seperti *State of Charge* (SoC), tegangan, dan arus. Pengujian dilakukan dengan skenario pengisian dan pengosongan baterai secara langsung dari panel surya, serta analisis data meliputi perhitungan efisiensi energi, evaluasi grafik tegangan–arus, validasi estimasi SoC, dan perbandingan efektivitas dengan sistem kontrol PWM dari penelitian terdahulu.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem USPS mampu mencapai efisiensi konversi rata-rata 105,07% selama 11 jam pengujian dengan laju pengisian rata-rata 14,28 Wh, dan kinerja optimal diketahui pada rentang pukul 10.00–14.00 sebesar 102,93%. Efisiensi tertinggi tercatat pada pukul 11.00–12.00 dengan energi terkonversi 30,78 Wh. Analisis efektivitas menunjukkan bahwa USPS berbasis MPPT menghasilkan energi sebesar 157,02 Wh, lebih tinggi 37,95% dibandingkan sistem PWM (113,82 Wh), sehingga menegaskan keunggulan MPPT dalam memaksimalkan energi surya. Pengujian ketahanan baterai diawali pada kondisi SoC 69,33% (151,82 Wh) dengan tambahan suplai energi dari panel sebesar 157,02 Wh, sehingga total energi yang tersedia mencapai 308,84 Wh. Sistem dapat beroperasi selama 11 jam dengan tingkat efisiensi yang baik, ditunjukkan oleh penyaluran energi sebesar 299,49 Wh ke beban dan hanya menyisakan cadangan 9,35 Wh, atau sekitar $\pm 4,27\%$ SoC pada akhir pengujian. Hal ini menunjukkan sistem USPS mampu menjaga keberlangsungan suplai energi beban secara optimal dalam satu siklus pengujian. Adapun, sistem BMS berfungsi efektif dalam mengendalikan proses pengisian dan pengosongan baterai secara otomatis, mencegah tegangan dan arus melebihi ambang batas, serta melindungi baterai dari over-discharge. Namun, keterbatasan pada akurasi sensor arus dan tegangan serta adanya lonjakan saat switching menunjukkan perlunya peningkatan pada aspek stabilitas dan presisi sensor agar sistem lebih andal. Dengan demikian, hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi MPPT dan BMS pada sistem panel surya mandiri terbukti meningkatkan keandalan, efisiensi, dan perlindungan sistem, sekaligus memberikan landasan pengembangan sistem yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Kata kunci: Energi Baru Terbarukan, MPPT P&O, Battery Management System, efisiensi energi, panel surya mandiri

ABSTRACT

The increasing demand for energy driven by population growth and industrialization is still largely met by fossil fuels, which have negative environmental impacts. Renewable Energy (RE), particularly solar energy, has emerged as a strategic solution in the transition toward a clean and sustainable energy system. Indonesia has significant potential for solar energy utilization through the photovoltaic effect in solar panels. However, the fluctuating output characteristics of solar panels, along with voltage drops when large loads are connected, require a control system capable of optimizing power generation while maintaining system stability and safety.

This research focuses on the design and testing of a prototype Unit Solar Power System (USPS) based on a standalone solar panel integrated with the Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm using the Perturb and Observe (P&O) method and a Battery Management System (BMS). The system is designed to enhance energy transfer efficiency from solar panels to the battery and loads while monitoring key parameters such as State of Charge (SoC), voltage, and current. Testing scenarios included both charging and discharging of the battery directly from the solar panel, with data analysis covering energy efficiency calculations, voltage–current graph evaluations, SoC estimation validation, and effectiveness comparison with PWM-based control systems from previous studies.

The experimental results show that the USPS achieved an average energy conversion efficiency of 105.07% over 11 hours of testing, with an average charging rate of 14.28 Wh, and optimal performance recorded between 10:00–14:00 at 102.93%. The highest efficiency occurred between 11:00–12:00, with 30.78 Wh of converted energy. Effectiveness analysis demonstrated that the MPPT-based USPS produced 157.02 Wh, which is 37.95% higher compared to the PWM-based system (113.82 Wh), thereby confirming the advantage of MPPT in maximizing solar energy utilization. The battery endurance test began with an initial SoC of 69.33% (151.82 Wh), supported by an additional 157.02 Wh from the solar panel, resulting in a total available energy of 308.84 Wh. The system successfully operated for 11 hours, delivering 299.49 Wh to the load while leaving a reserve of 9.35 Wh (final SoC $\approx$ 4.27%). This indicates that the USPS can sustain continuous load supply efficiently within a single operating cycle. Furthermore, the BMS effectively controlled charging and discharging

processes automatically, preventing voltage and current from exceeding thresholds and protecting the battery from over-discharge. However, limitations in current and voltage sensor accuracy, as well as switching transients, highlight the need for improvements in sensor precision and transient stability to ensure greater system reliability. the integration of MPPT and BMS in a standalone solar power system has been proven to enhance reliability, efficiency, and protection, while also providing a foundation for the development of more adaptive and sustainable USPS technologies.

Keywords: *Renewable Energy, MPPT P&O, Battery Management System, energy efficiency, standalone solar panel*



KATA PENGANTAR

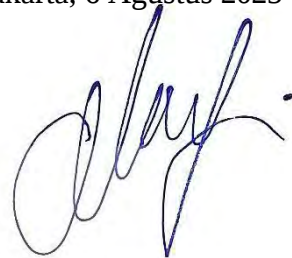
Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta kesehatan dan kekuatan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul “Prototipe Unit Solar Power System (USPS) dengan integrasi Titik Daya Maksimum dan Sistem Manajemen Baterai pada Sistem Panel Surya Mandiri”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Penulis menyadari sebagai manusia biasa dalam penulisan ini tidak terlepas dari kesalahan dan kekurangan akibat terdapatnya keterbatasan dalam ilmu pengetahuan dan pengalaman. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak terutama Freddy Artadima Silaban, S.Kom, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, saran, semangat dan berbagai nasihat serta pengetahuan yang sangat bermanfaat. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berpartisipasi dalam membantu penyusunan skripsi ini terutama kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran serta keteguhan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas penelitian ini dengan baik tanpa melalaikan perintah-NYA.
2. Keluarga tercinta, kedua orang tua dan adik yang selalu memberikan doa dan dukungan yang tiada henti selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr.Eng Heru Suwoyo, ST, M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Mercu Buana.
4. Bapak Muhammad Hafizd Ibnu Hajar, S.T.,M.T selaku Koordinator Tugas Akhir Universitas Mercu Buana.
5. Freddy Artadima Silaban, S.Kom, M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Universitas Mercu Buana.
6. Diva Anjelika yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2021 Universitas Mercu Buana.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat menjadi karya yang bermanfaat, penulis juga menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis mohon maaf atas segala kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini dan semoga dapat diperbaiki oleh penulis lainnya sehingga ilmu yang diperoleh akan terus berkembang dan bermanfaat.

Jakarta, 6 Agustus 2025



Resa Alif Kurniawan

Nim:41421010013



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL/COVER.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT KETERANGAN HASIL <i>SIMILARITY</i>	iv
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Batasan Masalah.....	6
1.5. Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Literatur Review	9
2.2. Solar panel.....	17
2.2.1. Karakteristik solar panel.....	18
2.2.2. Jenis solar panel.....	18
2.2.3. Jenis sistem solar panel	20
2.3. <i>Solar Charge Controller</i> (SCC)	21
2.3.1. Jenis-jenis Solar Charge Controller (SCC)	22
2.3.1. Pulse Width Modulation (PWM)	22
2.3.1. <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT).....	22
2.4. Baterai	23
2.4.1. Parameter Baterai	24
2.4.2. Kapasitas Baterai.....	24
2.4.3. Tegangan Baterai	24

2.4.4. <i>State Of Charge (SOC)</i>	24
2.4.5. <i>Depth Of Discharge (DOD)</i>	25
2.4.6. <i>Self Discharge</i>	26
2.4.7. <i>Tingkat Charge dan Discharge (C-Rating)</i>	26
2.5. Metode menentukan nilai <i>State of Charge (SOC)</i>	27
2.5.1. <i>Metode Coulomb Counting</i>	27
2.5.2. <i>Metode Open Circuit Voltage (OCV)</i>	28
2.6. <i>Hardware Sistem</i>	29
2.6.1. <i>Panel Surya</i>	29
2.6.2. <i>Baterai LifePO4</i>	30
2.6.3. <i>Driver IR2110</i>	30
2.6.4. <i>MOSFET IRFZ44N</i>	31
2.6.5. <i>Mikrokontroler ESP32</i>	32
2.6.6. <i>Sensor Arus (ACS712)</i>	33
2.6.7. <i>Sensor Tegangan</i>	34
2.6.8. <i>Inverter</i>	34
BAB III PERANCANGAN SISTEM	36
3.1. <i>Gambaran umum</i>	36
3.2. <i>Diagram blok sistem</i>	36
3.3. <i>Prosedur kerja system</i>	37
3.3.1. <i>Flowchart system</i>	38
3.3.2. <i>Flowchart metode estimasi SOC (OCV – CC)</i>	39
3.3.3. <i>Flowchart metode estimasi SOC (OCV – CC)</i>	40
3.5.1. <i>Flowchart MPPT dengan metode P&O</i>	41
3.4. <i>Perancangan Hardwere</i>	42
3.4.1. <i>Rancangan Buck Boost Connverter</i>	42
3.4.2. <i>Rancangan Sistem Elektrikal</i>	44
3.4.3. <i>Rancangan Sistem Mekanikal</i>	47
3.5. <i>Perancangan perangkat monitoring</i>	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1. <i>Pengujian Sensor Tegangan</i>	53
4.2. <i>Pengujian Sensor Arus (ACS712)</i>	55
4.3. <i>Pengujian Konversi MPPT Buck Boost Converter</i>	57

4.3.1. Pengujian Buck Boost Converter	57
4.3.2. Pengujian titik daya maksimum MPPT.....	59
4.4. Pengujian Sistem Battery Management System (BMS)	60
4.4.1. Estimasi SOC pada siklus pengosongan	60
4.4.2. Estimasi SOC pada siklus pengisian	66
4.5. Uji Kinerja <i>Unit Solar Power System</i> (USPS)	73
4.5.1. Produksi daya panel surya.....	74
4.5.2. Energi yang tersimpan dan analisis efektivitas produksi	76
4.5.3. Kapasitas baterai terhadap beban	78
4.5.4. Efisiensi konversi energi	81
4.5.5. Akurasi sistem BMS terhadap parameter acuan.....	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	88
5.1. Kesimpulan.....	88
5.2. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	94



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur lapisan sel photovoltaic (Yuwono, 2005).....	17
Gambar 2.2 Grafik Hubungan Arus dengan Tegangan (Suwarti et al., 2018)	18
Gambar 2.3 Stand-alone PV System (Manimekalai et al., 2013).....	20
Gambar 2.4 Hybrid PV System (Sumber: Manimekalai et al., 2013).....	21
Gambar 2. 5 Struktur Baterai	23
Gambar 2.6 Dampak Deep of Discharge (DOD) terhadap jumlah siklus baterai (Masters, 2004).....	25
Gambar 2.7 OCV dengan relaksasi tegangan dan tegangan terminal dengan pengisian dan pengosongan 1/25 C (EverExceed, 2022).....	28
Gambar 2.8 Solar Panel Monocrystalline.....	29
Gambar 2.9 Baterai lifePO4 3.2V 15Ah	30
Gambar 2.10 Driver MOSFET IR2110.....	31
Gambar 2. 11 MOSFET IRFZ44N.....	32
Gambar 2.12 Mikronotroler ESP32	32
Gambar 2.13 Sensor ACS712 & detail sensor	33
Gambar 2.14 Sensor Tegangan.....	34
Gambar 2.15 Inverter Input 12 Vdc / output 220 Vac 2200Watt.....	35
Gambar 3.1 Diagram blok unit solar power system (USPS).....	37
Gambar 3.2 Flowchart prosedur kerja unit solar power system (USPS).....	38
Gambar 3. 3 Flowchart Estimasi state of charge (SOC) dengan metode hybrid open current voltage (OCV) dan coulomb counting	39
Gambar 3.4 Flowchart system proteksi BMS	40
Gambar 3. 5 Flowchart Algoritma MPPT dengan metode Perturb and Observe (P&O).....	41
Gambar 3.6 Skematik rangkain SCC dengan buck boost converter DC-DC	44
Gambar 3.7 Desain skematik unit solar power system (USPS)	46
Gambar 3.8 Desain tiga dimensi unit solar power system (USPS)	48
Gambar 3.9 Gambar Kerja unit solar power system (USPS)	48
Gambar 3. 10 URL API yang digunakan ESP32	50
Gambar 3. 11 API get dan post antara server dan ESP32	50

Gambar 3. 12 API get dan post data antara server dan Antarmuka WEB.....	50
Gambar 3. 13 Struktur Sensor Data di MyPhpAdmin.....	50
Gambar 3. 14 Struktur data BMS di MyPhpAdmin	51
Gambar 3. 15 Struktur Data Status Mode, Relay Charging dan Discharging	51
Gambar 3.16 Antarmuka Pengguna monitoring dan Kontrol Power system	51
Gambar 4. 1 Prototipe unit solar power system (USPS).....	52
Gambar 4.2 Dokumentasi Pengujian Sensor Tegangan	53
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan antara sensor tegangan dan multimeter	54
Gambar 4.4 Dokumentasi Pengujian Sensor arus	56
Gambar 4.5 Grafik perbandingan antara sensor arus dan multimeter	57
Gambar 4. 6 Grafik pengaruh duty cycle terhadap Daya	58
Gambar 4. 7 Grafik Kinerja algoritma MPPT P&O pada buck boost converter ...	59
Gambar 4.8 Dokumentasi pengujian alat USPS pada proses pengosongan	61
Gambar 4.9 Grafik tegangan baterai terhadap waktu pada proses pengosongan ...	62
Gambar 4.10 Grafik arus baterai terhadap waktu pada proses pengosongan	63
Gambar 4.11 Grafik state of charge (SOC) terhadap waktu pada proses pengosongan.....	63
Gambar 4.12 Grafik tegangan, arus dan state of charge (SOC) terhadap waktu pada proses pengosongan.....	65
Gambar 4.13 Grafik pengosongan muatan pada baterai terhadap waktu pada proses pengosongan.....	66
Gambar 4.14 Dokumentasi pengujian alat USPS pada proses pengisian.....	67
Gambar 4.15 Grafik tegangan baterai terhadap waktu pada proses pengosongan.	67
Gambar 4.16 Grafik arus baterai terhadap waktu pada proses pengosongan	69
Gambar 4.17 Grafik estimasi SOC terhadap waktu pada proses pengisian	70
Gambar 4.18 Grafik tegangan, arus dan state of charge (SOC) terhadap waktu pada proses pengisian.....	73
Gambar 4.19 Grafik pengosongan muatan pada baterai terhadap waktu pada proses pengisian.....	73
Gambar 4.20 Daya pengisian PLTS terhadap waktu.....	75
Gambar 4.21 Daya PLTS terhadap waktu.....	76

Gambar 4.22 Grafik Daya discharging oleh beban terhadap USPS	80
Gambar 4.23 Grafik estimasi SoC terhadap Waktu	80
Gambar 4.24 Grafik Daya discharging oleh beban terhadap USPS	82
Gambar 4.25 Grafik tegangan, arus dan daya discharging	82
Gambar 4.26 Grafik SoC terhadap waktu dan status relay	86
Gambar 4. 27 Grafik arus dan tegangan discharging terhadap waktu dan status relay	86
Gambar 4.28 Grafik arus dan tegangan charging terhadap waktu dan status relay	86



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Literature Review	9
Tabel 3.1 Spesifikasi rancangan awal buck boost converter	42
Tabel 3.2 Spesifikasi rancangan awal buck boost converter	43
Tabel 3.3 konfigurasi pin system	45
Tabel 3. 4 konfigurasi pin system	46
Tabel 4.1 Tabel hasil pengujian sensor tegangan	54
Tabel 4.2 Tabel hasil pengujian sensor arus	56
Tabel 4.3 Tabel Pengujian duty cycle Buck Boost Converter	58
Tabel 4.4 Daya yang produksi panel surya	74
Tabel 4.5 Daya charging USPS dari panel surya	76
Tabel 4.6 Daya charging USPS dari panel surya	78
Tabel 4.7 Efisiensi pengisian daya	81
Tabel 4.8 Program aktivasi system BMS	82

