



**PENGISIAN BATERAI
MENGUNAKAN *BUCK-BOOST CONVERTER*
PADA SISTEM ENERGI SURYA**

SKRIPSI

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

Hasan Asy'ari

5301414064

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Hasan Asy'ari

NIM : 5301414064

Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Judul : Pengisian Báterai Menggunakan *Buck-Boost Converter* pada
Sistem Energi Surya

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian

Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro,

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 12 Febuari 2019
Dosen Pembimbing,



Drs. Djoko Adi Widodo, M.T.
NIP. 195909271986011001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Pengisian Baterai Menggunakan *Buck-Boost Converter*** pada Sistem Energi Surya dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 2 Januari 2019.

Oleh

Nama : Hasan Asy'ari

NIM : 5301414064

Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Panitia:

Ketua



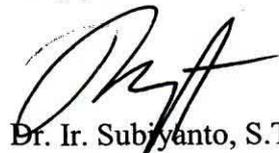
Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.
NIP. 197805312005011002

Sekretaris



Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 197411232005011001

Penguji I



Dr. Ir. Subiyanto, S.T., M.T.
NIP. 197411232005011001

Penguji II



Drs. Said Sunardiyo, M.T.
NIP. 196505121991031003

Penguji III/Pembimbing



Drs. Djoko Adi Widodo, M.T.
NIP. 195909271986011001

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 2019
Yang membuat pernyataan,



Hasan Asy'ari
NIM. 5301414064

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Maka sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan, dan sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan (Q.S Al Insyirah 5-6).
2. Pasrah dan sandarkan dirimu hanya kepada Allah setelah ikhtiar yang bersungguh-sungguh. Hanya Allahlah sebaik-baiknya penolong.

PERSEMBAHAN

1. Bapak Masyhudi yang telah tiada dan Ibu Tercinta, Siti Juwariyah wanita terhebat dan kuat yang tak pernah lelah berdoa, berkorban, bersabar dan selalu memberi dukungan. Semoga Allah SWT memberikan perlindungan kepada Ibu serta selalu diselimuti rahmatNya.
2. Keluarga tercinta yang selalu mendoakan dan tidak pernah lupa selalu mengingatkan saya untuk terus semangat dalam menggapai cita-cita.
3. Sahabat-sahabatku seperjuangan dan teman-teman PTE 2014 Universitas Negeri Semarang yang selalu membantu. Terimakasih atas segala yang telah diberikan.
4. Serta ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu saya selama ini.

ABSTRAK

A, Hasan. 2019. “Pengisian Baterai Menggunakan *Buck-Boost Converter* pada Sistem Energi Surya”. Pembimbing: **Drs. Djoko Adi Widodo, M.T.** Pendidikan Teknik Elektro.

Energi listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan untuk menunjang kehidupan manusia. Saat ini kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat dikarenakan penambahan penduduk, ekonomi dan konsumsi energi yang mengakibatkan peningkatan konsumsi energi listrik. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan berbagai terobosan oleh berbagai pihak, baik itu pemerintah maupun masyarakat. Salah satu terobosan yang dapat dilakukan adalah pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang sangat besar adalah energi matahari. Akan tetapi energi listrik yang diproduksi atau dihasilkan oleh teknologi photovoltaic sangat tergantung intensitas sinar matahari. Oleh sebab itu perlu ada sebuah treatment agar tegangan yang dihasilkan tetap stabil, walaupun intensitas matahari setiap saat berubah-ubah tergantung kondisi alam. Atas dasar realitas yang ditemukan dilapangan, penulis tertarik untuk melakukan pengujian pengaruh modul *Buck-Boost Converter* terhadap pengisian baterai pada sistem energi surya.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu dengan mengadakan manipulasi pada obyek penelitian. Supaya diperoleh data yang konsisten, pengujian dilakukan beberapa kali. Penelitian ini akan mencari pengaruh dari modul *Buck-Boost Converter* terhadap stabilitas tegangan keluaran panel surya dan mencari tingkat efisiensi yang dihasilkan pada sistem pengisian baterai menggunakan *Buck-Boost Converter*. Tingkat efisiensi dan kestabilan tegangan modul *Buck-Boost Converter* dapat diketahui dengan mengukur dan membandingkan tegangan panel surya sebelum dan setelah melalui modul *Buck-Boost Converter*

Hasil penelitian ini yaitu fluktuasi tegangan keluaran modul surya dengan intensitas cahaya yang berbeda-beda dapat distabilkan menggunakan modul *Buck-Boost Converter* dengan rata-rata tegangan hasil penstabilan yaitu 13.8 volt. Meskipun tegangan yang dihasilkan oleh modul surya bervariasi antara 9.6-20.2 volt, namun pendistribusiannya untuk mengisi baterai sangat stabil dengan 13.8 volt. Modul *Buck-Boost Converter* efektif digunakan untuk menstabilkan tegangan pengisian baterai pada sistem energi surya. Efisiensi modul *buck-boost* yang digunakan relative tinggi dengan nilai efisiensi rata-rata mencapai 73.9%

Kata Kunci: *Buck-Boost Converter*, Energi Surya, Intensitas, *Photovoltaic*.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan, petunjuk, saran serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Dr.-Ing Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T, Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
4. Drs. Djoko Adi Widodo, M.T, selaku pembimbing yang penuh perhatian dalam membimbing, memberikan saran dan masukan untuk kebaikan skripsi ini.
5. Dr. Ir. Subiyanto, S.T, M.T dan Drs. Said Sunardiyo, M.T, selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang membangun.
6. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan banyak ilmu selama proses perkuliahan.
7. Keluarga tercinta, terutama Ibu, kakak dan adik yang selalu memberikan dukungan, doa, dan semangat dalam penyusunan skripsi ini.
8. Teman-teman PTE 2014 yang sudah membantu selama kuliah dan penyusunan skripsi.

9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang turut serta memberikan dukungan selama penyusunan skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat terutama untuk penelitian yang dimasa depan.

Semarang, 12 Febuari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| PERSETUJUAN PEMBIMBING..... | ii |
| PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | iv |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN | v |
| ABSTRAK | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2. Identifikasi Masalah | 6 |
| 1.3. Batasan Masalah | 6 |
| 1.4. Rumusan Masalah | 7 |
| 1.5. Tujuan Penelitian..... | 7 |
| 1.6. Manfaat Penelitian..... | 7 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 9 |
| 2.1. Tinjauan Pustaka | 9 |
| 2.2. Landasan Teori | 12 |
| 2.2.1. Sistem Energi Surya | 12 |
| 2.2.2. Komponen Sistem Energi Surya..... | 14 |
| 2.2.3. Konsep Pengisian Baterai | 24 |
| 2.2.4. <i>DC-DC Converter</i> | 25 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 32 |
| 3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan..... | 32 |
| 3.2. Desain Penelitian | 32 |
| 3.3. Alat dan Bahan Penelitian | 34 |
| 3.3.1. Alat Penelitian | 34 |
| 3.3.2. Bahan Penelitian | 35 |
| 3.4. Prosedur Penelitian | 38 |

| | |
|--|----|
| 3.4.1. Diagram Alir Penelitian | 38 |
| 3.4.2. Proses Penelitian | 39 |
| 3.5. Teknik Pengumpulan Data | 41 |
| 3.5.1. Uji Laboratorium | 41 |
| 3.6. Teknik Analisis Data | 43 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 46 |
| 4.1. Hasil Penelitian | 46 |
| 4.1.1. Pengujian Modul Surya | 46 |
| 4.1.2. Pengujian Penstabil Tegangan Modul Surya dengan <i>Buck-Boost Converter</i> | 48 |
| 4.1.3. Pengujian Keseluruhan Pengisian Baterai dengan <i>Buck- Boost Converter</i> | 49 |
| 4.2. Analisis Data | 51 |
| 4.2.1. Analisis Waktu yang Dibutuhkan Untuk Pengisian Modul Baterai 12 V 7 Ah | 51 |
| 4.2.2. Analisis Efisiensi Daya Penstabil dengan <i>Buck-Boost Converter</i> | 52 |
| 4.3. Pembahasan | 53 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 56 |
| 5.1. Simpulan..... | 56 |
| 5.2. Saran..... | 56 |
| DAFTAR PUSTAKA | 57 |
| LAMPIRAN | 60 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1. Perencanaan Jadwal Penelitian | 32 |
| Tabel 3.2. Data Pengujian Modul Surya | 42 |
| Tabel 3.3. Data Pengujian <i>Buck-Boost Converter</i> | 42 |
| Tabel 3.4. Data Pengujian Pengisian Baterai pada Sistem Energi Surya dengan <i>Buck-Boost Converter</i> | 43 |
| Tabel 4.1. Hasil Pengujian Modul Surya | 47 |
| Tabel 4.2. Hasil Pengujian Penstabil Tegangan <i>Buck-Boost Converter</i> | 48 |
| Tabel 4.3. Hasil Pengujian Pengisian Baterai dengan <i>Buck-Boost Converter</i> | 50 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. Sistem Energi Surya | 13 |
| Gambar 2.2. Efek Photovoltaic | 16 |
| Gambar 2.3. Perbedaan Sel Surya, Modul Surya dan Panel Surya..... | 16 |
| Gambar 2.4. Ilustrasi Baterai Akumulator | 17 |
| Gambar 2.5. Konsep Pengisian Baterai | 25 |
| Gambar 2.6. Rangkaian Dasar <i>Buck-Boost Converter</i> | 27 |
| Gambar 2.7. <i>Continuous Current Mode</i> | 28 |
| Gambar 2.8. <i>Discontinuous Current Mode</i> | 29 |
| Gambar 2.9. Siklus Kerja <i>Buck-Boost Converter</i> Pensaklaran Terbuka..... | 30 |
| Gambar 2.10. Siklus Kerja <i>Buck-Boost Converter</i> Pensaklaran Tertutup | 30 |
| Gambar 4.1. Grafik Pengujian Modul Surya | 47 |
| Gambar 4.2. Grafik Hasil Pengujian Penstabil Tegangan <i>Buck-Boost Converter</i> | 49 |
| Gambar 4.3. Hasil Pengujian Pengisian Baterai Menggunakan <i>Buck-Boost Converter</i> | 51 |
| Gambar 4.4. Grafik Efisiensi Daya <i>Buck-Boost Converter</i> | 54 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 <i>Modul Simulasi sistem Energi Surya</i> | 60 |
| Lampiran 2 Dokumentasi Uji Simulasi Alat..... | 64 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan untuk menunjang kehidupan manusia. Saat ini kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat dikarenakan penambahan penduduk, ekonomi dan konsumsi energi yang mengakibatkan peningkatan konsumsi energi listrik. Kurangnya penambahan kapasitas pembangkit listrik serta semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil sebagai salah satu bahan baku yang paling banyak digunakan untuk membangkitkan listrik. Dengan kondisi tersebut, pemerintah mendorong upaya pengembangan penyediaan energi listrik dari sumber-sumber energi terbarukan. Energi yang bersifat terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi mengingat sumber tersebut sangat melimpah. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan berbagai terobosan oleh berbagai pihak, baik itu pemerintah maupun masyarakat. Salah satu terobosan yang dapat dilakukan adalah pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang sangat besar adalah energi matahari. Energi matahari adalah salah satu energi baru dan terbarukan yang secara aktif dikembangkan di

Indonesia sebagai negara tropis. Letak Indonesia yang berada pada daerah khatulistiwa, maka wilayah Indonesia selalu disinari matahari selama 10-12 jam dalam sehari (Widodo dkk, 2009). Potensi sumber energi matahari Indonesia rata-rata sekitar 4,8 kWh/M²/hari, setara dengan 112.000 GWp, akan tetapi baru dimanfaatkan sekitar 10 MWp (Syafii, 2015). Untuk memanfaatkan potensi energi matahari sebagai sumber energi listrik diperlukan sel surya (photovoltaic/PV) sebagai piranti untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik.

Dalam penerapannya sebagai sebuah pembangkit listrik, solar panel terhubung pada sebuah *solar charge controller*. *Solar charge controller* adalah alat untuk mengatur tegangan dan arus yang akan mengisi media penyimpanan arus listrik (Buyung, 2016). Media penyimpanan arus listrik yang paling optimal digunakan adalah akumulator atau *Accu*. *Accu* mengalirkan arus ke beban tergantung dari kapasitas *Accu* tersebut. Baterai/*Accu* merupakan sebuah sel listrik, didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversibel* (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Reversibel adalah proses terjadinya perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian). Daya baterai dapat diisi kembali dengan meregenerasi elektroda-elektroda yang dipakai yaitu dengan melewatkan arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel.

Proses pengisian baterai merupakan bagian penting agar laju pengisian baterai dapat dilakukan secara optimal. Sistem pengisian harus mampu melakukan pengisian baterai sesuai dengan tegangan dan arus listrik yang dibutuhkan oleh baterai. Bila tegangan dan arus pengisian terlalu besar atau sering disebut dengan

istilah *overcharging* menyebabkan beberapa masalah pada baterai. Adapun akibat yang ditimbulkan karena *overcharging* baterai menjadi cepat rusak, sehingga dibutuhkan sebuah sistem pengisian yang dapat berfungsi sebagai kontrol (Mosey, 2016). Rusaknya baterai yang diakibatkan karena *overcharging* disebabkan karena pada setiap sel baterai pada bagian plat positif akan mendapatkan tekanan yang diakibatkan oleh suhu yang tinggi selama terjadinya proses *overcharging*. Karena tekanan ini, maka plat-plat positif akan berubah bentuk sehingga oksigen bebas dapat masuk ke dalam plat-plat positif sampai seluruh lead sulfat atau $PbSO_4$ berubah menjadi lead peroxide atau PbO_2 . Kerusakan akibat *overcharging* dapat disebabkan karena kinerja dari regulator yang kurang baik sehingga menyebabkan tegangan pengisian melebihi batas.

Rangkaian pengisi baterai merupakan pengembangan dari peralatan pengontrol pengisi baterai konvensional yang menggunakan rangkaian transistor sebagai komponen kontrolnya (Komarudin, 2014). Pengisian baterai (battery charging) dengan metode *switching* mempunyai kinerja yang lebih baik daripada metode pengendalian arus dengan transistor. Dengan metode *switching* ini efisiensi yang diperoleh bisa mencapai 85% atau lebih. Perlindungan baterai dari *overcharging* sangat penting untuk menjaga umur pemakaian baterai. Oleh karena itu diperlukan sistem pengendali untuk mengatur tegangan yang dihasilkan oleh sel surya menjadi tegangan yang stabil yang dapat menyuplai arus beban atau kebaterai tanpa merusaknya.

Untuk memperoleh tegangan keluaran sesuai yang kita inginkan, butuh sistem pengubah daya atau *dc-dc converter*. Konverter dc-dc berfungsi untuk menaikkan

dan menurunkan tegangan, sama halnya dengan trafo yang mengubah tegangan AC tertentu ke tegangan DC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Akan tetapi konverter dc-dc mempunyai efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan powersupply konvensional karena tidak ada peningkatan ataupun pengurangan daya masukan selama pengkonversian bentuk energi listriknya (Arifin dkk, 2016).

Dalam sistem perubahan daya dc atau dc-dc converter, terdapat dua tipe yaitu tipe linier dan tipe peralihan atau tipe *switching* (dc chopper). Tipe linier merupakan cara termudah untuk mencapai tegangan keluaran yang bervariasi, namun kurang diminati karena tingginya daya yang hilang (power loss) pada transistor ($V_{CE} \cdot I_L$) sehingga berakibat rendahnya efisiensi. Sedangkan pada tipe *switching*, tidak ada daya yang diserap pada transistor sebagai *switch*. Ini dimungkinkan karena pada waktu *switch* ditutup tidak ada tegangan yang jatuh pada transistor, sedangkan pada waktu *switch* dibuka, tidak ada arus listrik mengalir (Sutedjo dkk, 2010). Ini berarti semua daya terserap pada beban, sehingga efisiensi daya menjadi 100%. Akan tetapi pada prakteknya, tidak ada *switch* yang ideal.

Berdasarkan penelitian terdahulu, perancangan sistem pengendali pengisian muatan baterai menggunakan *switching regulator* untuk menstabilkan tegangan keluaran panel surya dapat memperpanjang umur baterai dan melindungi baterai dari keadaan *overcharging*. Saat intensitas matahari tinggi, panel surya dapat mengisi muatan baterai dan menyuplai beban, sedangkan saat intensitas matahari rendah, baterai berperan sebagai sumber menggantikan panel surya (shahab, 2010).

Selanjutnya telah dilakukan penelitian mengenai simulasi dan pembuatan sistem kontrol pengisian baterai untuk pembangkit listrik tenaga surya dilengkapi dengan sensor tegangan yang digunakan untuk memonitoring masukan dari sebuah catu daya. Kekurangan dari penelitian ini diantaranya pada penelitian tersebut tidak adanya regulasi tegangan dan hanya terfokuskan untuk kontrol pengisian baterai (Mosey, 2016).

Dalam penelitian mengenai penggunaan *buck* converter untuk pengisi akumulator, dimana berdasarkan hasil percobaannya *buck Converter* yang dibuat dapat menghasilkan tegangan untuk pengisian akumulator sebesar 14,4Volt dengan nilai efisiensinya mencapai 84% (Setiawan dkk, 2015). Dalam penelitian yang lain dinyatakan bahwa rancangan *Buck-Boost Converter* ini mampu meregulasi tegangan yang dihasilkan sel surya menjadi tegangan keluaran yang konstan dalam batas toleransi dengan tegangan yang konstan. Kekurangan dari penelitian ini yaitu rangkaian *buck-boost converter* ini cenderung linier sehingga diperlukan metode kontrol untuk meningkatkan waktu komputasi (Rahman & Permadi, 2014).

Dari uraian diatas energi listrik yang diproduksi atau dihasilkan oleh teknologi photovoltaic sangat tergantung intensitas sinar matahari. Oleh sebab itu perlu ada sebuah treatment agar tegangan yang dihasilkan tetap stabil, walaupun intensitas matahari setiap saat berubah-ubah tergantung kondisi alam. Atas dasar realitas yang ditemukan dilapangan, penulis tertarik untuk melakukan pengujian modul *Buck-Boost Converter* terhadap efektifitas dan efisiensi sistem pengisian baterai pada sistem energi surya. *Buck-Boost Converter* merupakan converter dc-

dc tipe *switching* yang dapat bekerja sebagai penaik maupun penurun tegangan yang dapat disesuaikan dengan aplikasi lainnya yang membutuhkan tegangan keluaran bervariasi dan dapat berfungsi juga untuk meningkatkan kualitas daya dan efisiensi (Hakim dkk, 2016).

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang, identifikasi masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Tegangan keluaran dari modul surya bersifat fluktuatif menyesuaikan dengan intensitas matahari yang diterima.
2. Pengisian baterai melalui sistem modul surya membutuhkan tegangan yang stabil untuk memperpanjang usia baterai.
3. Pada pengisian baterai dengan modul surya diperlukan kontrol tegangan untuk mencegah baterai mengalami pengisian melebihi tegangan pengisian (*overcharging*) baterai.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah, maka pembahasan pada penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Pemanfaatan modul *buck-boost converter* untuk menjaga tegangan keluaran dari modul surya tetap stabil.
2. Simulasi sistem pengisian baterai dengan menggunakan modul *buck-boost converter* x16009.

1.4. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang dipaparkan, maka dicoba untuk mengembangkan sebuah sistem desain *Buck-Boost Converter* untuk pengisian baterai/aki. Adapun beberapa permasalahan yang ada dalam mengembangkan sistem ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh *Buck-Boost Converter* terhadap stabilitas tegangan keluaran panel surya?
2. Bagaimana pengaruh efisiensi yang dihasilkan pada sistem pengisian baterai menggunakan *Buck-Boost Converter*?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan yang akan di capai dari penelitian ini yaitu:

1. Menguji pengaruh *Buck-Boost Converter* terhadap stabilitas tegangan keluaran panel surya.
2. Menguji efisiensi yang dihasilkan pada sistem pengisian baterai menggunakan *Buck-Boost Converter*.

1.6. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memeberikan beberapa manfaat yaitu:

1. Bagi Peneliti

Menambah pengetahuan dan mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh.

2. Bagi Lembaga Riset

Penelitian ini diharapkan dapat membantu sistem regulasi pada pembangkit energi terbarukan yang sedang dikembangkan.

3. Bagi Masyarakat

Penelitian ini diharapkan nantinya dapat bermanfaat untuk mengetahui dalam memilih *battery Charge Regulator* yang baik untuk pembangkit energi terbarukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai pengisian baterai berbasis sel surya telah banyak dilakukan karena pengembangan pembangkit listrik dari energi terbarukan adalah kebutuhan zaman. Dengan banyaknya penelitian yang telah dilakukan, maka penulis menggunakan beberapa referensi dari pengisian baterai dengan menggunakan panel surya yang telah ada dimana masing-masing menggunakan metode dan simulasi yang berbeda-beda.

Anto dkk (2014) dalam penelitian yang berjudul "*Portable Battery Charger Berbasis Sel Surya*". Penelitian ini dilakukan untuk merancang peralatan pengisi muatan baterai akumulator berbasis sel surya. Dalam penelitian ini peralatan yang dibuat terdiri atas panel surya dengan daya puncak 50-W yang terpasang pada konstruksi bersifat portabel atau dapat dengan mudah dipindah-pindah, baterai asam-timbal 12-V, 7,5Ah dan unit pengendali pengisi muatan baterai atau *charge controller*. Panel surya mengisi muatan baterai melalui *charge controller*, selanjutnya energi yang tersimpan pada baterai dapat dimanfaatkan untuk menyalakan lampu listrik untuk pencahayaan gerobak kuliner atau perahu nelayan di malam hari. Rangkaian *charge controller* menggunakan komponen utama regulator tegangan LM338. Rangkaian *charge controller* dilengkapi dengan kipas pendingin yang digerakkan oleh tegangan 12 Volt yang berasal dari regulator tegangan LM7812. Hasil dari pengujian pengisian baterai pada kondisi cuaca

cerah dari pukul 08.00 sampai pukul 16.00 telah memperlihatkan bahwa alat yang dibuat telah dapat mengisi muatan baterai sampai penuh pada kondisi yang aman bagi baterai tersebut. Kelemahan dari penelitian ini yaitu pengisian baterai dengan berbasis regulator tegangan linier membutuhkan waktu pengisian baterai akumulator yang relatif lama yaitu sekitar 6 jam dan efisiensi *charge controller* relatif rendah dengan nilai sebesar 62% dan cenderung menurun selama masa pengisian. Langkah penyempurnaan perlu dilakukan agar pengisian baterai dapat dilakukan dengan lebih efisien dan lebih cepat, misalnya dengan menggunakan converter dc-dc.

Penelitian mengenai *buck-boost converter* yang dilakukan Rahman dan Premadi (2014) telah melakukan penelitian yang berjudul “*Perancangan Regulasi Tegangan Sel Surya Berbasis Buck-boost converter*”. Penelitian ini merancang *Buck-Boost Converter* sebagai regulasi tegangan sel surya dengan tujuan untuk meregulasi tegangan sel surya yang bersifat fluktuatif berdasarkan intensitas cahaya matahari yang diterima permukaan sel surya. Dalam penelitian ini konverter jenis *buck-boost* dirancang dengan tegangan keluaran konstan 12 V DC, 60 watt dengan *switching* 40 KHz dan tegangan masukan yang bervariasi dari sel surya. Hasil dari penelitian tersebut yaitu konverter dapat digunakan sebagai alat untuk meregulasi tegangan keluaran panel surya yang bersifat fluktuatif, sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang konstan. Akan tetapi rancangan ini bersifat simulasi menggunakan perangkat lunak berdasarkan data yang didapatkan dari pengukuran tegangan keluaran sel surya setiap satu jam dari jam 08.00 sampai jam 17.00.

Setiawan dkk (2015) melakukan penelitian yang berjudul “*Penggunaan Konverter Jenis Buck dengan Pemutus Tegangan Otomatis untuk Pengisi Akumulator*”. Dalam penelitian tersebut, konverter yang digunakan sebagai pengisi akumulator berupa *buck* converter. Berdasarkan hasil percobaan, tegangan pengisian akumulator yang digunakan adalah sebesar 14,4 Volt dengan suhu ruangan kurang dari 30 derajat celcius. Pemutus tegangan otomatis berhasil menghentikan pengisian akumulator ketika terminal tegangan akumulator telah mencapai 13,8 Volt dan indikator berupa LED akan menyala. Efisiensi yang terukur pada rangkaian *buck* converter yaitu sebesar 84%.

Penelitian Mosey (2016) yang berjudul “*Simulasi Rangkaian Sistem Kontrol Pengisian Baterai untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya*”. Penelitian ini membahas tentang simulasi dan pembuatan rangkaian sistem kontrol pengisian baterai yang bersumber dari sebuah pembangkit listrik tenaga surya. Dalam penelitian ini metode penelitian yang dilakukan yaitu dengan merangkai rangkaian dan disimulasikan dengan perangkat lunak Proteus ISIS Profesional selanjutnya dilakukan pembuatan rangkaian elektronika dalam sebuah PCB. Tegangan yang dihasilkan oleh baterai dibaca oleh sistem kontrol kemudian sistem memilih tegangan yang diberikan oleh panel surya diisi pada baterai atau dialihkan kepada sebuah beban tambahan. Hasil yang didapatkan dalam penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol pengisian baterai yang dibangun telah bekerja sesuai dengan simulasi dan dapat bekerja dengan baik. Dalam penelitian ini hanya memaparkan tentang otomatisasi pengisian baterai dengan menggunakan panel surya sebagai sumber tegangannya, dan tidak adanya regulasi tegangan.

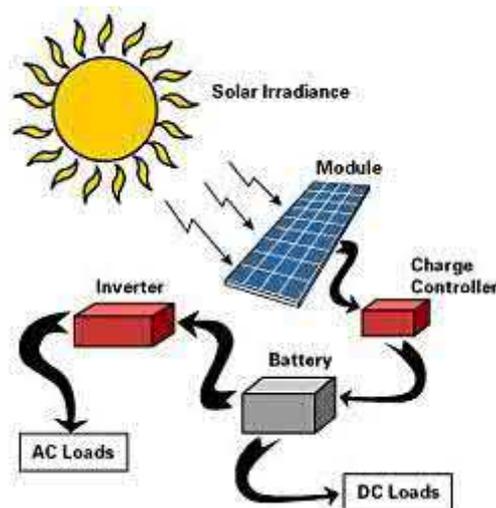
Rifa'i (2016) melakukan penelitian yang berjudul “*Desain Rangkaian Buck-boost converter pada Sistem Charging Lampu Penerangan Lingkungan Pondok Pesantren di Kota Malang*”. Dalam penelitian tersebut, rangkaian pengisi baterai yang dipilih adalah rangkaian dengan topologi *Buck-Boost Converter* dan menggunakan kontrol proporsional. Proses charging dengan menggunakan rangkaian *Buck-Boost Converter* dengan beban charging baterai 7 AH, tegangan awal 11.34V dalam waktu 90 menit tegangan menjadi 11.74 V dengan tegangan sumber 11.9V. Hasil rancangan dan implementasi adalah: Metode Proportional Control pada pengaturan *duty cycle buck-boost* berfungsi untuk mencapai setpoint dengan waktu 0.5s saat pengukuran 12V (saat charging). Pada saat tegangan awal 10.19V menjadi 10.39V dengan tegangan sumber 10.9V (*boost mode*). Hasil yang didapat menyatakan bahwa dengan menggunakan rangkaian topologi *buck-boost converter* dengan menggunakan kontrol proporsional akan menambah efisiensi pada saat charging baterai 13.1 %.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia sebesar 5,10 mW atau 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan. Oleh karena itu energi surya memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan energi fosil, diantaranya:

1. Sumber energi yang mudah didapatkan.
2. Ramah lingkungan.
3. Sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis.
4. Instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah.
5. Listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai.



Gambar 2.1. Sistem Energi Surya

Prinsip kerja sistem energi surya yaitu dengan mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik melalui modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Energi listrik yang dihasilkan modul surya kurang stabil dikarenakan intensitas cahaya yang diterima berubah-ubah sehingga diperlukan charge control yang berfungsi untuk menyetabilkan tegangan listrik yang dihasilkan modul surya. Setelah tegangan stabil kemudian arus mengalir ke baterai yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik, apabila tidak digunakan atau tidak langsung menyuplai beban. Jika beban yang disuplai merupakan beban DC maka energi yang dihasilkan dapat langsung digunakan akan tetapi jika beban

merupakan peralatan yang membutuhkan supply listrik AC maka pada sistem ini diperlukan inverter yang berfungsi untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC.

2.2.2. Komponen Sistem Energi Surya

2.2.2.1. Panel Surya

Sel surya merupakan perangkat semikonduktor yang memiliki karakteristik arus (I) dan tegangan (V) *output* yang tidak linier. PV didefinisikan sebagai teknologi yang dapat menghasilkan listrik DC dari suatu bahan semikonduktor ketika dipaparkan cahaya. Selama bahan semikonduktor tersebut dipaparkan oleh cahaya, maka sel surya akan menghasilkan energi listrik, dan ketika tidak dipaparkan oleh cahaya, sel surya tidak menghasilkan energi listrik.

Menurut Rifa'I (2016) sel surya adalah bahan semikonduktor yang dapat melepas electron apabila ada rangsangan dari sinar matahari yang kemudian membentuk arus listrik. Bahan semikonduktor yang sering dipakai oleh sel photovoltaic adalah silicon, di dalam silicon paling tidak terdapat dua lapisan yaitu lapisan bermuatan positif dan bermuatan negatif, yang kemudian ada gerbang diantara dua lapisan tersebut, dimana gerbang itu akan terbuka apabila ada rangsangan dari cahaya matahari, sehingga membentuk suatu aliran elektron atau arus searah (DC). Besar gerbang berbanding lurus dengan banyaknya intensitas cahaya matahari yang masuk.

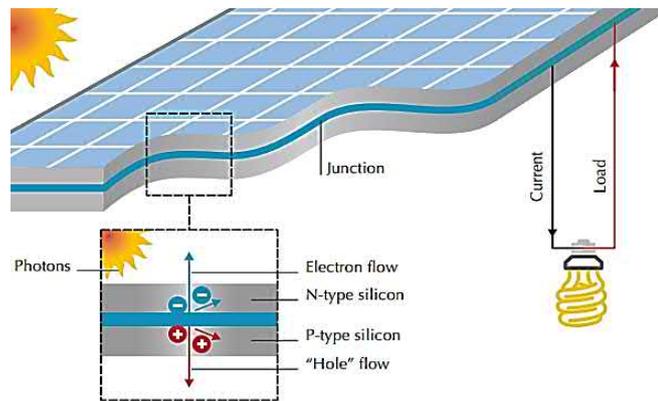
Selanjutnya Menurut Shahab (2010) sel surya merupakan suatu sel yang terbuat dari semikonduktor dan berfungsi untuk mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui selnya.

Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya dipengaruhi oleh intensitas matahari yang diterima serta suhu sekitar modul surya. Besarnya intensitas matahari yang diterima oleh sel surya maka tegangan dan arus yang dihasilkan semakin besar. Dikarenakan besarnya arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan intensitas cahaya matahari, maka tidak sama antara kondisi cuaca cerah dan kondisi mendung, sehingga bisa dikondisikan besarnya arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan berat jenis awan yang memantulkan sinar dari matahari.

Berikut merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi kerja dari sel surya agar pengoperasiannya dapat mencapai nilai maksimum:

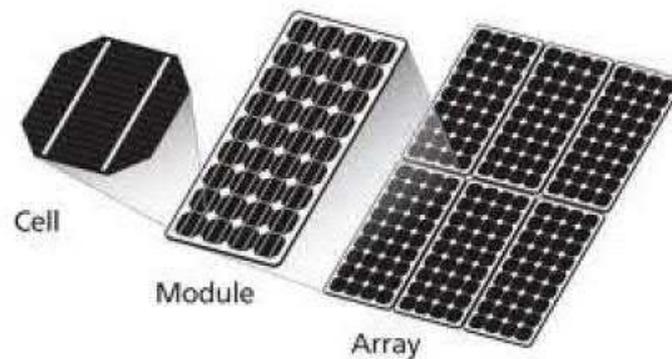
1. Suhu permukaan panel surya
2. Radiasi solar matahari (iradiasi)
3. Kecepatan angin bertiup
4. Keadaan atmosfer bumi
5. Orientasi panel atau array PV
6. Posisi letak sel surya (array) terhadap matahari (tilt angle)

Sel surya terdiri dari 3 lapisan, lapisan panel P di bagian atas, lapisan pembatas di tengah, dan lapisan panel N di bagian bawah. Efek fotoelektrik adalah ketika sinar matahari menyebabkan elektron di lapisan panel P terlepas, hal ini menyebabkan foton mengalir ke lapisan panel N di bagian bawah dan perpindahan arus foton ini adalah arus listrik.



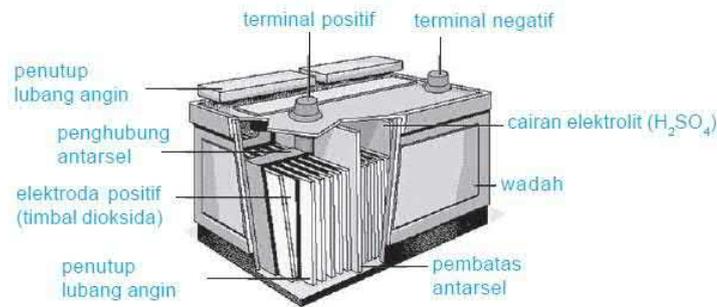
Gambar 2.2. Efek Photovoltaic
(sumber: SNI 8395:2017)

Berdasarkan SNI 8395:2017, modul surya adalah beberapa sel surya yang digabungkan menjadi sebuah perangkat yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel (array) surya merupakan bagian yang paling penting dalam PLTS tersusun atau beberapa modul surya, sedangkan modul surya merupakan kombinasi dari beberapa sel surya.



Gambar 2.3. Perbedaan Sel Surya, Modul Surya dan Panel Surya

2.2.2.2. Baterai/Aki



Gambar 2.4. Ilustrasi Baterai Akumulasi
(sumber : <http://bit.ly/2HzhjXv> :2018)

Menurut Sadewo (2017), baterai atau akumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Prinsip kerjanya mengubah energi listrik menjadi energi kimia pada saat menyimpan, dan mengubah energi kimia menjadi energi listrik pada saat digunakan. Proses elektrokimia reversible merupakan proses didalam baterai dapat berlangsung perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel.

Pengertian baterai berdasarkan SNI 8395:2017 adalah alat yang terdiri dari satu atau lebih sel dimana energi kimia diubah menjadi energi listrik dan digunakan sebagai penyimpan energi listrik. Tanpa baterai maka energi surya hanya dapat digunakan pada saat ada sinar matahari saja karena tidak ada alat penyimpan energinya. Baterai atau aki berfungsi untuk menyimpan energi listrik

dalam bentuk energi kimia yang akan digunakan untuk menyuplai (menyediakan) listrik pada komponen-komponen kelistrikan.

Dalam sistem energi surya, baterai berfungsi untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika panel surya tidak mengeluarkan daya atau dalam kata lain panel surya tidak terkena paparan sinar matahari. Selain itu baterai digunakan untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel surya setiap kali daya melebihi beban. Ketika adanya matahari dan panel menghasilkan daya listrik, daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi daya baterai. Ketika tidak adanya matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai.

Kemampuan dari suatu baterai ditentukan oleh kapasitasnya yang diukur dalam satuan Ampere/hour dengan persamaan dibawah ini:

$$Ah = I \times t$$

Dimana: Ah (Ampere Hourse) : kapasitas baterai
 I : kuat arus (ampere)
 t : waktu (jam/detik)

Setiap baterai terdiri dari terminal positif(Katoda) dan terminal negatif (Anoda) serta Elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. Output arus listrik dari baterai adalah arus searah atau disebut juga dengan arus DC (*Direct Current*). Pada umumnya, Baterai terdiri dari 2 Jenis utama yaitu baterai Primer yang hanya dapat sekali pakai (*single use battery*) dan baterai Sekunder yang dapat diisi ulang (*rechargeable battery*).

1. Baterai Primer (Baterai Sekali Pakai/Single Use)

Baterai primer atau baterai sekali pakai ini merupakan baterai yang paling sering ditemukan di pasaran, hampir semua toko dan supermarket menjualnya. Hal ini dikarenakan penggunaannya yang luas dengan harga yang lebih terjangkau. Baterai jenis ini pada umumnya memberikan tegangan 1,5 Volt dan terdiri dari berbagai jenis ukuran seperti AAA (sangat kecil), AA (kecil) dan C (medium) dan D (besar). Disamping itu, terdapat juga Baterai Primer (sekali pakai) yang berbentuk kotak dengan tegangan 6 Volt ataupun 9 Volt. Jenis-jenis baterai yang tergolong dalam kategori baterai primer (sekali pakai / *Single use*) diantaranya adalah:

a. Baterai Zinc-Carbon (Seng-Karbon)

Baterai *Zinc-Carbon* juga disering disebut dengan Baterai “*Heavy Duty*” yang sering kita jumpai di Toko-toko ataupun Supermarket. Baterai jenis ini terdiri dari bahan *Zinc* yang berfungsi sebagai Terminal Negatif dan juga sebagai pembungkus Baterainya. Sedangkan Terminal Positifnya adalah terbuat dari Karbon yang berbentuk Batang (rod). Baterai jenis *Zinc-Carbon* merupakan jenis baterai yang relatif murah dibandingkan dengan jenis lainnya.

b. Baterai Lithium

Baterai Primer *Lithium* menawarkan kinerja yang lebih baik dibanding jenis-jenis baterai primer (sekali pakai) lainnya. Baterai Lithium dapat disimpan lebih dari 10 tahun dan dapat bekerja pada suhu yang sangat rendah. Karena keunggulannya tersebut, baterai jenis *Lithium* ini sering digunakan untuk aplikasi *Memory Backup* pada Mikrokomputer maupun jam tangan. Baterai Lithium

biasanya dibuat seperti bentuk Uang Logam atau disebut juga dengan baterai Koin (*Coin Battery*) disebut juga *Button Cell* atau baterai Kancing.

c. **Baterai Silver Oxide**

Baterai *Silver Oxide* merupakan jenis baterai yang tergolong mahal dalam harganya. Hal ini dikarenakan tingginya harga Perak (Silver). Baterai *Silver Oxide* dapat dibuat untuk menghasilkan Energi yang tinggi tetapi dengan bentuk yang relatif kecil dan ringan. Baterai jenis *Silver Oxide* ini sering dibuat dalam bentuk Baterai Koin (*Coin Battery*) / Baterai Kancing (*Button Cell*). Baterai jenis *Silver Oxide* ini sering dipergunakan pada Jam tangan, Kalkulator dan lain-lain.

2. **Baterai Sekunder (Baterai Isi Ulang/*Rechargeable*)**

Baterai sekunder adalah jenis baterai yang dapat diisi ulang atau *Rechargeable Battery*. Pada prinsipnya, cara baterai sekunder menghasilkan arus listrik adalah sama dengan baterai Primer. Hanya saja, reaksi kimia pada baterai Sekunder ini dapat berbalik (*Reversible*). Pada saat baterai digunakan dengan menghubungkan beban pada terminal baterai (*discharge*), Elektron akan mengalir dari negatif ke positif. Sedangkan pada saat sumber energi luar (*Charger*) dihubungkan ke baterai sekunder, elektron akan mengalir dari positif ke negatif sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai.

Jenis-jenis baterai yang dapat di isi ulang (*Rechargeable Battery*) yang sering kita temukan antara lain seperti Baterai *Ni-cd* (*Nickel-Cadmium*), *Ni-MH* (*Nickel-Metal Hydride*) dan *Li-Ion* (*Lithium-Ion*). Jenis-jenis baterai yang tergolong dalam kategori baterai sekunder (Baterai isi ulang) diantaranya adalah:

a. Baterai *Rechargeable Alkaline*

Merupakan baterai *alkaline* yang paling murah yang dapat di-cas ulang, memiliki umur simpan yang lama dan cocok untuk penggunaan yang umum / moderat. Di antara baterai yang dapat di-cas ulang, jenis baterai ini merupakan jenis yang paling rendah siklus penge-cas-an ulangnya, sekitar 25 kali atau lebih. Namun demikian baterai ini tetap menjadi pilihan karena populernya baterai *alkaline* ditambah lagi dapat dicas ulang.

b. Baterai *Ni-Cd (Nickel-Cadmium)*

Baterai *Ni-Cd (Nickel-Cadmium)* adalah jenis baterai sekunder (isi ulang) yang menggunakan *Nickel Oxide Hydroxide* dan *Metallic Cadmium* sebagai bahan Elektrolitnya. Baterai *Ni-Cd* memiliki kemampuan beroperasi dalam jangkauan suhu yang luas dan siklus daya tahan yang lama. Di satu sisi, baterai *Ni-Cd* akan melakukan discharge sendiri (*self discharge*) sekitar 30% per bulan saat tidak digunakan. Baterai *Ni-Cd* juga mengandung 15% Tosik/racun yaitu bahan Carcinogenic Cadmium yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan Lingkungan Hidup. Saat ini, Penggunaan dan penjualan Baterai *Ni-Cd (Nickel-Cadmium)* dalam perangkat Portabel Konsumen telah dilarang oleh *EU (European Union)* berdasarkan peraturan “*Directive 2006/66/EC*” atau dikenal dengan “*Battery Directive*”.

c. Baterai *Ni-MH (Nickel-Metal Hydride)*

Baterai *Ni-MH (Nickel-Metal Hydride)* memiliki keunggulan yang hampir sama dengan *Ni-Cd*, tetapi baterai *Ni-MH* mempunyai kapasitas 30% lebih tinggi dibandingkan dengan baterai *Ni-Cd* serta tidak memiliki zat berbahaya *Cadmium*

yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Baterai *Ni-MH* dapat diisi ulang hingga ratusan kali sehingga dapat menghemat biaya dalam pembelian baterai. Baterai *Ni-MH* memiliki *Self-discharge* sekitar 40% setiap bulan jika tidak digunakan. Saat ini baterai *Ni-MH* banyak digunakan dalam Kamera dan Radio Komunikasi. Meskipun tidak memiliki zat berbahaya *Cadmium*, Baterai *Ni-MH* tetap mengandung sedikit zat berbahaya yang dapat merusak kesehatan manusia dan Lingkungan hidup, sehingga perlu dilakukan daur ulang (*recycle*) dan tidak boleh dibuang di sembarang tempat.

d. Baterai *Li-Ion (Lithium-Ion)*

Baterai jenis *Li-Ion (Lithium-Ion)* merupakan jenis baterai yang paling banyak digunakan pada peralatan elektronika portabel seperti Digital Kamera, Handphone, Video Kamera ataupun Laptop. Baterai *Li-Ion* memiliki daya tahan siklus yang tinggi dan juga lebih ringan sekitar 30% serta menyediakan kapasitas yang lebih tinggi sekitar 30% jika dibandingkan dengan Baterai *Ni-MH*. Rasio *Self-discharge* adalah sekitar 20% per bulan. Baterai *Li-Ion* lebih ramah lingkungan karena tidak mengandung zat berbahaya *Cadmium*. Sama seperti Baterai *Ni-MH (Nickel- Metal Hydride)*, Meskipun tidak memiliki zat berbahaya *Cadmium*, baterai *Li-Ion* tetap mengandung sedikit zat berbahaya yang dapat merusak kesehatan manusia dan Lingkungan hidup, sehingga perlu dilakukan daur ulang (*recycle*) dan tidak boleh dibuang di sembarang tempat.

e. Baterai *Lead-Acid*

Baterai *lead-acid* (asam timbal) lebih dikenal dengan nama aki. Sangat populer diseluruh dunia, daya tahan tinggi dan sangat ekonomis. Namun karena

beratnya, baterai ini tidak memungkinkan digunakan pada barang elektronik yang portable. Bahan timbal (*lead*) merupakan racun dan bersifat karsinogen. Karenanya harus di daur ulang dengan baik. Proses daur ulang baterai *Lead Acid* merupakan proses daur ulang paling sukses dunia. Saat ini 93% baterai *lead-acid* telah didaur-ulang dan dipergunakan untuk memproduksi baterai lead- acid yang baru.

2.2.2.3. Battery Charge Regulator (BCR)

Menurut Teresna dkk (2014), Charger Regulator adalah alat elektronik pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Berfungsi mengatur lalu lintas listrik dari modul surya ke baterai atau *Accu* (apabila baterai atau *Accu* sudah penuh maka listrik dari modul surya tidak akan dimasukkan ke baterai atau *Accu* dan sebaliknya), dan dari baterai atau *Accu* ke beban (apabila listrik dalam battery atau *Accu* tinggal 20-30%, maka listrik ke beban otomatis dimatikan.

Battery charge regulator (BCR) adalah sebuah rangkaian kontrol yang mempunyai tugas mengatur regulasi pengisian dan pengosongan baterai. pengaturan ini dilakukan dengan cara memutuskan hubungan sumber dengan baterai ketika tegangan pada baterai telah mencapai titik high voltage disconnected dan pengaturan juga dilakukan dengan memutuskan hubungan baterai dengan beban ketika tegangan baterai telah mencapai low voltage disconnected.

BCR digunakan untuk menyesuaikan catu daya listrik yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik dengan karakteristik baterai sel timah hitam dengan membatasi yang berlebihan dan pembentukan sulfat berlebihan (sulfat irreversible) melalui:

1. Penurunan arus pengisian dari modul fotovoltaik yaitu dengan membatasi tegangan tertentu supaya tidak dilampaui (dengan batas atas).
2. Membatasi DOD (*Depth Of Discharge*) dengan pemutus arus otomatis ke rangkaian beban, pada saat baterai tegangan turun di bawah tegangan tertentu (tegangan batas bawah).

Alat ini mempunyai 4 fungsi utama :

1. Melindungi baterai dari kondisi pengisian berlebih (over-charge).
2. Melindungi baterai dari kemungkinan pembebanan berlebih (over-discharge).
3. Melindungi sistem dari kemungkinan rusak akibat terjadinya hubung singkat pada beban.
4. Serta mencegah arus balik dari baterai ke modul fotovoltaik.

2.2.3. Konsep Pengisian Baterai

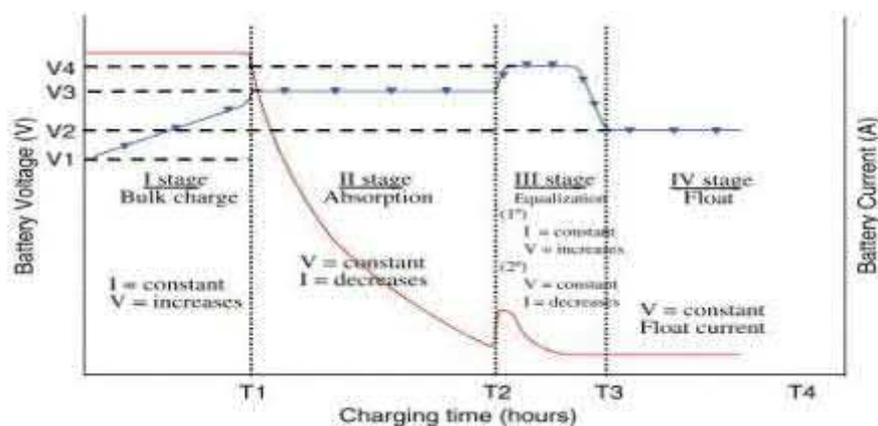
Terdapat dua istilah pengisian baterai yaitu arus konstan dan tegangan konstan. Arus konstan adalah suatu kondisi dimana charger akan memberikan arus pengisian yang tetap selama selang waktu tertentu hingga baterai mencapai suatu nilai tegangan yang ditetapkan. Sedangkan tegangan konstan adalah suatu kondisi dimana ketika baterai sebelumnya sudah mencapai batas tegangan tertentu pada saat terjadi arus konstan, pada kondisi ini tegangan baterai akan dipertahankan hingga harus pengisian baterai mendekati nol.

Pada pengisian baterai dengan tegangan konstan terdapat 4 tahapan yaitu:

1. *Bulk charge (constant current increasing battery voltage)* adalah fasa dimana tegangan pada baterai meningkat pada saat terjadi arus konstan.

2. *Absorption (constant battery voltage decreasing charge current)* adalah fasa dimana baterai sudah mendekati full (75%-80%), pada fasa ini baterai akan diisi dengan arus yang lebih kecil hingga mendekati full.
3. *Equalizing (constant charge current, increasing battery voltage)* adalah fasa yang biasa dilakukan untuk menyeimbangkan kembali tegangan antar sel-sel baterai (perawatan baterai).
4. *Float (trigle voltage)* adalah fasa dimana baterai boleh diisi dalam jangka waktu yang lama, namun karena tegangan baterai dipertahankan tidak terlalu tinggi sehingga masih tetap aman untuk baterai itu sendiri.

Nilai pengaturan tegangan *bulk charge*, *absorption*, *equalizing*, dan *float* (*trigle voltage*) akan berbeda-beda tergantung dari tipe baterai, pada umumnya tertera pada spesifikasi baterai dari perusahaan baterai tersebut.



Gambar 2.5. Konsep Pengisian Baterai

2.2.4. DC-DC Converter

Menurut Sutedjo dkk (2010), DC-DC converter merupakan suatu rangkaian listrik yang mentransfer energi dari sumber tegangan dc ke beban. Pada banyak aplikasi industri, diperlukan untuk mengubah sumber tegangan dc tetap menjadi

sumber tegangan dc yang bersifat variable. Dalam sistem perubahan daya DC atau DC to DC konverter, terdapat dua tipe yaitu tipe linier dan tipe peralihan atau tipe *switching* (DC chopper). Tipe linier merupakan cara termudah untuk mencapai tegangan keluaran yang bervariasi, namun kurang diminati karena tingginya daya yang hilang (power loss) pada transistor ($V_{CE} \cdot I_L$) sehingga berakibat rendahnya efisiensi.

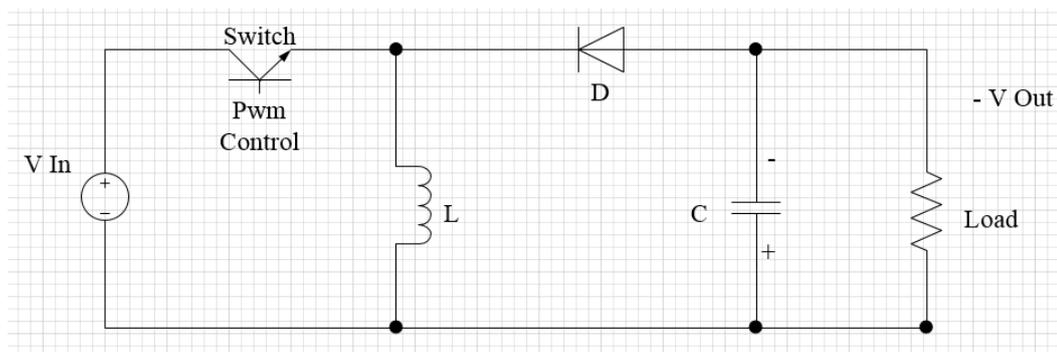
Sedangkan pada tipe *switching*, tidak ada daya yang diserap pada transistor sebagai *switch*. Ini dimungkinkan karena pada waktu *switch* ditutup tidak ada tegangan yang jatuh pada transistor, sedangkan pada waktu *switch* dibuka, tidak ada arus listrik mengalir. Iniberarti semua daya terserap pada beban, sehingga efisiensi daya menjadi 100%. Namun pada prakteknya, tidak ada *switch* yang ideal.

Pada tipe *switching*, fungsi transistor sebagai electronic *switch* yang dapat dibuka (off) dan ditutup (on). Jika *switch* ditutup maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan, sedangkan jika *switch* dibuka maka tegangan keluaran akan menjadi nol. Dengan demikian tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbentuk pulsa.

Pertama, energi ditransfer melalui suatu piranti elektronik (*switch device*) ke piranti penyimpan energi. Kemudian, energi dikirimkan ke beban dari piranti penyimpan energi. Induktor dan kapasitor biasanya digunakan sebagai penyimpan energi. Proses transfer energi ini menghasilkan tegangan keluaran yang ditentukan oleh tegangan *input* dan *duty ratio* rangkaian *switching*.

Secara umum, DC to DC konverter berfungsi untuk mengkonversikan daya listrik searah ke bentuk daya listrik searah lainnya yang terkontrol arus, atau tegangan, atau arus dan tegangan. Ada lima rangkaian dasar dari converter DC-DC non-isolasi, yaitu *buck*, *boost*, *buck-boost*, *cuk*, dan *sepic*. Pada penelitian ini, rangkaian DC to DC konverter yang akan diuji merupakan rangkaian *buck-boost converter*. Tegangan dc masukan dari proses DC to DC konverter tersebut berasal dari sumber tegangan DC yang dihasilkan oleh modul surya.

2.2.4.1. Buck-Boost Converter

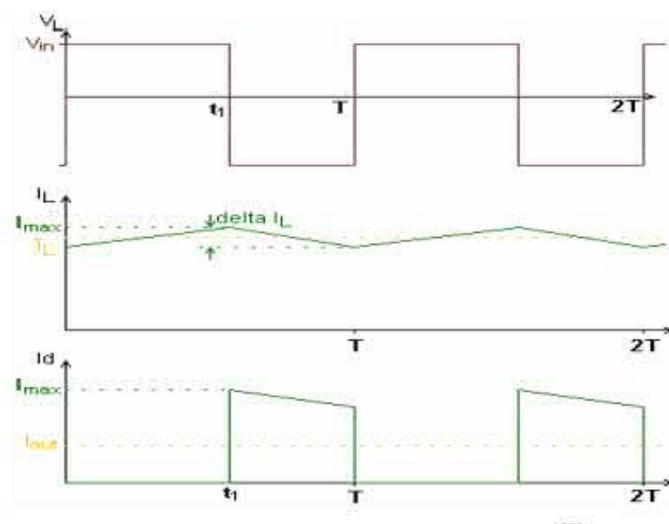


Gambar 2.6. Rangkaian Dasar *Buck-Boost Converter*
(sumber: Komarudin, 2014)

Buck-Boost Converter merupakan kombinasi dari *buck* converter dan *boost* converter. *Buck* converter adalah jenis converter dc yang memiliki tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukan, sedangkan *boost* converter adalah jenis converter yang memiliki tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan masukan. Gambar 2.6 menunjukkan rangkaian dasar *Buck-Boost Converter* yang terdiri dari power MOSFET sebagai *switching* komponen, induktor (L), diode (D), kapasitor (C) dan Resistor sebagai beban (R L). Induktor digunakan sebagai filter untuk mengurangi ripple arus. Sedangkan kapasitor digunakan sebagai filter untuk

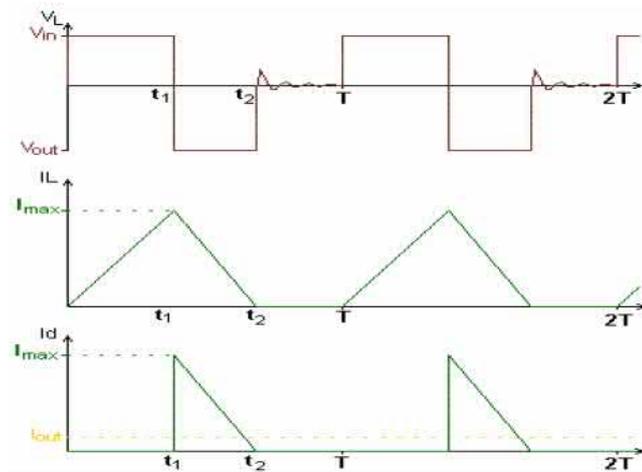
mengurangi ripple tegangan. Dioda digunakan sebagai komponen *switching* yang bekerja pada keadaan saklar terbuka, sehingga arus tetap mengalir ke induktor.

Buck-Boost Converter dapat dioperasikan dengan dua mode yaitu *Continuous current mode* (CCM) dan *discontinuous current mode* (DCM). Gambar 2.7 merupakan *Continuous current mode* ditandai oleh arus yang mengalir secara terus menerus pada induktor pensaklaran *cycle*-nya pada keadaan mantap (*steady state*). Sehingga tegangan *output* dapat diatur dengan mengubah lebar pulsa (*duty cycle*) dan tidak tergantung dengan induktor dan kapasitor.



Gambar 2.7. Continuous Current Mode

Sedangkan gambar 2.8. merupakan *Discontinuous current mode* ditandai dengan arus induktor menjadi nol pada setiap pensaklaran *cycle*-nya dan tegangan *output* tergantung pada nilai induktor dan besarnya lebar pulsa.



Gambar 2.8. Discontinuous Current Mode

Analisa rangkaian *Buck-Boost Converter*:

1. Pensaklaran Terbuka

Prinsip kerja *Buck-Boost Converter* saat pensaklaran terbuka adalah induktor mendapat tegangan dari masukan dan mengakibatkan adanya arus yang melewati induktor berdasarkan waktu, dan dalam waktu yang sama kapasitor dalam kondisi membuang (*discharge*) dan menjadi sumber tegangan dan arus pada beban.

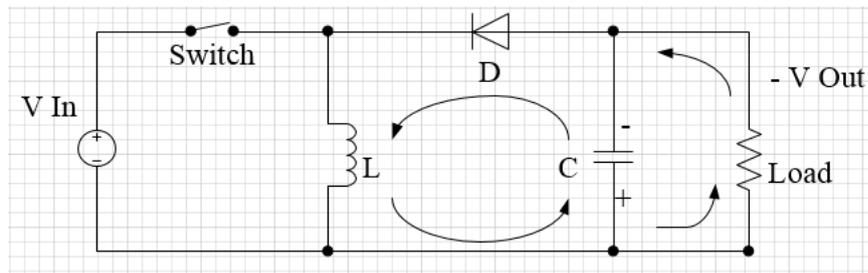
$$V_L = V_o = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_o}{L}$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_o}{L}$$

$$(\Delta i_L) \text{ terbuka} = \frac{V_o (1-D) T}{L} \dots \dots \dots (2.1)$$

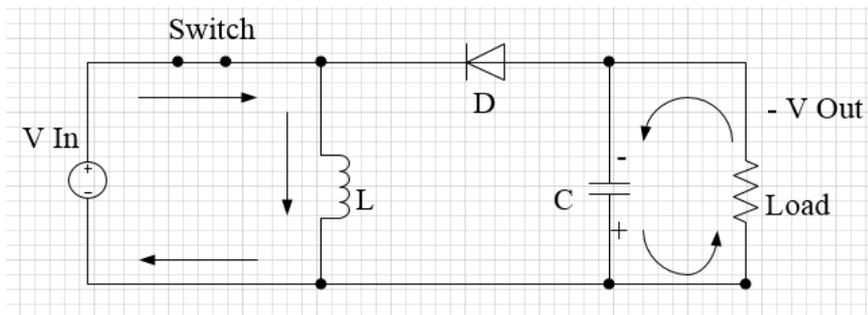
Keterangan: V_L = Tegangan pada induktor
 V_o = Tegangan luaran
 D = Lebar pulsa (*duty cycle*)
 T = Periode
 Δi_L = Total arus pada induktor



Gambar 2.9. Siklus Kerja *Buck-Boost Converter* Pensaklaran Terbuka
(sumber: Komarudin, 2014)

2. Pensaklaran Tertutup

Prinsip kerja *Buck-Boost Converter* saat pensaklaran tertutup adalah tegangan masukan terputus menyebabkan mulainya penurunan arus dan menyebabkan ujung dioda bernilai negatif dan induktor mensuplai kapasitor (*charge*) dan beban. Jadi pada saat pensaklaran terbuka arus beban disuplai oleh kapasitor, namun pada saat pensaklaran tertutup disuplai oleh induktor.



Gambar 2.10. Siklus Kerja *Buck-Boost Converter* Pensaklaran Tertutup
(Sumber: komarudin, 2014)

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$

$$(\Delta i_L) \text{ tertutup} = \frac{V_s DT}{L} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan: V_s = Tegangan Sumber

Dari persamaan 2.1 dan 2.2 diatas maka persamaan pada saat kondisi *steady state* adalah:

$$(\Delta i_L)_{\text{tertutup}} + (\Delta i_L)_{\text{terbuka}} = 0$$

$$\frac{V_s D T}{L} + \frac{V_o (1-D) T}{L} = 0$$

Dari persamaan diatas maka nilai tegangan keluaran adalah:

$$V_o = -V_s \left[\frac{D}{1-D} \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Modul surya menghasilkan daya terbesar pada intensitas cahaya tertinggi, yaitu sebesar 2.1 W pada intensitas 17500 lumen. Dari hasil pengujian ini, modul *Buck-Boost Converter* efektif digunakan untuk menstabilkan tegangan pengisian baterai pada sistem energi surya.
2. Efisiensi modul *buck-boost* yang digunakan relative tinggi dengan nilai efisiensi rata-rata mencapai 73.9%.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk penelitian lebih lanjut diantaranya :

1. Pengisian menggunakan modul ini untuk kapasitas arus yang kecil, perlu adanya penelitian dengan menggunakan modul *Buck-Boost Converter* dengan spesifikasi yang memiliki kapasitas lebih besar.
2. Pengujian yang dilakukan bersifat simulasi sehingga perlu adanya pengujian modul dengan menggunakan cahaya matahari untuk memperoleh hasil yang lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, R. M., I. Hidayat, dan K. B. Adam. 2016. Rancang Bangun dan Implementasi *Buck-Boost Converter* dengan Maximum Power Point Tracking Menggunakan Metode Perturb and Observe. *e-Proceeding of Engineering* 3(3):4178-4184.
- Anto, B., E. Hamdani, dan R. Abdullah. 2014. Portable Battery Charge Berbasis Sel Surya. *Jurnal Rekayasa Elektrika* 11(1): 19-24.
- Arifin, B., H. Suryoatmojo, Soedibjo. 2016. Desain dan Implementasi Penaik Tegangan Menggunakan Kombinasi KY Converter dan *Buck-Boost Converter*. *jurnal teknik ITS* 5(2):176-182.
- Arikunto, Suharsimi. 2006. *Metodelogi penelitian*. Yogyakarta: Bina Aksara.
- Azmi, M. R., S. Sumaryo, dan C. E. Putri. 2017. Desain dan Implementasi Modul Pengisian Baterai dan Penyimpanan Energi Potensial Air Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *e-Proceeding of engineering* 4(3): 3122-3129.
- Buyung, I., dan K. Azizi. 2016. Portable Power Plan Solar Cell. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)* : 332-342.
- Hadi, S. 2004. *Metodologi Research Untuk Penulisan Laporan, Skripsi, Thesis, dan Disertasi*. Yogyakarta: Andi.
- Hakim, M. L., S. Handoko, dan Karnoto. 2016. Analisis Perbandingan *Buck-Boost Converter* dan Cuk Converter dengan Pemicuan Mikrokontroller ATmega 8535 untuk Aplikasi Peningkat Kinerja Panel Surya. *Transmisi* 18(3): 137-144.
- Jung, Y. Hong, S. dan Kwon, O. 2017. A high-efficient and Fast-transient *Buck-Boost Converter* Using Adaptive Direct Path Skipping and On-duty Modulation. *Microelectronic journal. Hanyang University*:.43-51.
- Khakam, N. M., M. Ashari, dan Suryoatmojo, H. 2013. Desain dan Implementasi Sistem Manajemen Pengisian Baterai dan Beban pada Pembangkit Listrik Mandiri Menggunakan Synchronous Non-invereting Buc-Boost DC-DC Converter. *Jurnal Teknik POMITS* 1(1): 1-6.
- Komarudin, A. 2014. Desain dan Analisis Proporsional Kontrol *Buck-Boost Converter* pada Sistem Photovoltaik. *Jurnal ELTEK* 12(2):78-89.
- Mosey, R. I. H. 2016. Simulasi dan Pembuatan Rangkaian Sistem Kontrol Pengisian Baterai untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal Ilmiah Sains* 16(1):31-34.

- Putra, A. T., E. Kurinawan, dan B. K. Adam. 2016. Rancang Bangun Konverter Photovoltaic dan Pentaksiran Daya Photovoltaic untuk DC Power House. *e-Proceeding of Engineering* 3(3):4245-4252.
- Rahman, Z. dan A. Premadi. 2014. Perancangan Regulasi Tegangan Sel Surya Berbasis *Buck-boost converter*. *Seminar Nasional PIMIMD*: 33-35.
- Rifa'I, M. dan B. A. Ikawanty. 2016. Desain Rangkaian *Buck-Boost Converter* pada Sistem Charging Lampu Penerangan Lingkungan Pondok Pesantren di Kota Malang. *Prosiding SENTIA*. Politeknik Negeri Malang 8:28-34.
- Sadewo, R. A., E. Kurniawan, dan K. B. Adam. 2017. Perancangan dan Implementasi Pengisian Baterai Lead Acid Menggunakan Solar Cell dengan Menggunakan Metode Three Steps Charging. *e-Proceeding of Engineering* 4(1): 26-35.
- Setiawan, E., M. Facta, dan A. Nugroho. 2015. Penggunaan Konverter Jenis *Buck* dengan Pemutus Tegangan Otomatis untuk Pengisi Akumulator. *Transient* 4(1): 51-57.
- Shahab, R. M. 2010. Rancang Bangun Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai dengan Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Base Transceiver Station (BTS) GSM. *Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia*.
- Sugiyono. 2016. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung : Alfabeta.
- Suryanto, M. 2017. Pengaruh Penggunaan Solar Charger Control Terhadap Stabilitas Solar Cell Sebagai Penukiran Pompa Air pada Kebun Salak Dimusim Kemarau. *Prosiding SNST* : 12-17.
- Sutedjo, Z. Efendi, dan D. Mursyida. 2010. Rancang Bangun Modul DC-DC Converter dengan Pengendali PI. *Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS*:.1-5.
- Suwitno, Y. Rahayu, R. Amirul, dan E. Hamdani. 2017. Perancangan Konverter DC ke DC untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell Menggunakan Teknologi *Boost Converter*. *Journal of Electrical Technology* 2(3): 61-66.
- Teresna, I. W., I. N. Sugiarta, dan I. N. Suparta. 2014. Pengujian Charger Modul Simulasi Solar Cell Untuk Menyuplai Warning Light. *Buletin Fisika* 15(2): 30-39.
- V, Viswanatha dan R, Venkata S.R. 2017. Microcontroller Based Bidirectional *Buck-Boost Converter* for Photo-Voltaic Power Plant. *Journal of Electrical System and Information Technology*: 1-14.

Widodo, D. A., Suryono, dan A.Tatyantoro. 2010. Pemberdayaan Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas. *Jurnal Teknik Elektro* 2(2): 133-138.