

PERANCANGAN DAN ANALISIS SOLAR PV BATTERY CHARGER MENGGUNAKAN TOPOLOGI BUCK-BOOST CONVERTER

Ferdy Ultra Sony¹, Iswadi Hasyim Rosma²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

²Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: ferdy.ultra@gmail.com

ABSTRACT

Excessive use of fossil energy has a bad impact on humans and the environmentals. Generally, the use of fossil energy has now entered a critical phase because of the lack of availability of fossil energy resources. Indonesia is located in the equatorial region that gets sunlight all the year round. Solar energy is a primary energy that offers the opportunity to replace fossil energy. Solar energy is processed by using a solar panel modules system and can be stored in the batteries. The source voltage that connected to the battery must first be stabilized using a DC converter. In this article, the design and simulation of solar PV battery charger using buck-boost converter topology with MATLAB-simulink software is presented. Solar PV battery charger is designed with an output voltage of 16.8 V and a current of 6 A, which will charge the lithium-ion battery (li-ion) where it has a nominal voltage of 14.8 V with a capacity of 20.8 Ah.

Keywords—solar PV battery charger, buck-boost converter, lithium-ion battery, MATLAB-Simulink

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi primer saat ini umumnya bergantung pada penggunaan energi fosil dan gas bumi. Sementara oleh tingginya penggunaan energi fosil dan gas bumi menyebabkan mulai menipisnya ketersediaan energi fosil tersebut, selain itu juga penggunaan energi fosil ini berdampak negatif bagi lingkungan seperti pencemaran lingkungan dan penipisan lapisan Ozon (O₃).

Pertimbangan terhadap konservasi energi dan lingkungan hidup menuntut kita agar bisa memanfaatkan energi yang bisa selalu diperbaharui dan ramah lingkungan yaitu energi baru terbarukan. Indonesia merupakan negara yang berada di daerah khatulistiwa yang mendapat sinar matahari sepanjang tahun yang sangat cocok untuk pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

Energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan model sistem *Photovoltaic* atau panel surya. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berupa tegangan DC yang fluktuatif yang disebabkan oleh pengaruh *irradiance* dan temperatur yang berubah-ubah.

Penggunaan *Solar PhotoVoltaic* (SPV) dapat dibagi menjadi 2 tipe yaitu *direct* dan *storage*. Tipe penggunaan *direct* yaitu penggunaan energi listrik SPV yang dihasilkan dihubungkan secara langsung ke beban atau antar koneksi dengan grid PLN. Untuk beban AC, tegangan listrik DC yang dihasilkan oleh SPV harus dikonversikan ke tegangan AC tersebut melalui suatu alat yang disebut dengan inverter. Kedua adalah tipe penggunaan *storage* yaitu energi listrik yang dihasilkan SPV disimpan terlebih dahulu pada akumulator/baterai. Sebelum masuk ke baterai energi listrik distabilkan dulu tegangannya menggunakan DC/DC converter. Salah satu jenis DC/DC converter adalah menggunakan topologi *buck-boost converter*.

Artikel ini akan menjelaskan perancangan suatu alat *solar PV battery charger* menggunakan topologi *buck-boost converter* yang memiliki tegangan keluaran 16,8 V dan arus 6 A untuk melakukan pengisian ke baterai jenis *lithium-ion* (Li-ion) berkapasitas 20,8 Ah menggunakan *software MATLAB-simulink R2016a*.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Solar Photovoltaic

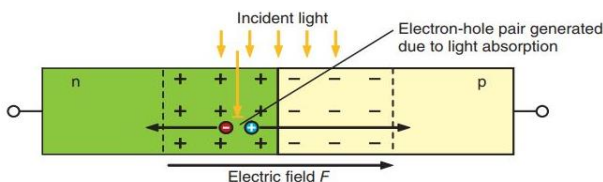
Solar photovoltaic merupakan sebuah teknologi terbarukan tersusun oleh dioda-dioda (semikonduktor) yang dapat menghasilkan daya listrik berupa arus listrik searah (DC) dalam satuan watt (W) atau kilowatt (KW) ketika diberi pancaran sinar matahari[1].

2.2.1 Efek photovoltaic

Kondisi ini ditemukan oleh Henry Becquerel tahun 1839 ia mengatakan efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana sel surya dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* disebut juga sebagai suatu fenomena munculnya tegangan listrik (V) ketika 2 elektroda terjadi kontak dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat diberi pancaran sinar matahari[2].

2.2.2 Sel photovoltaic

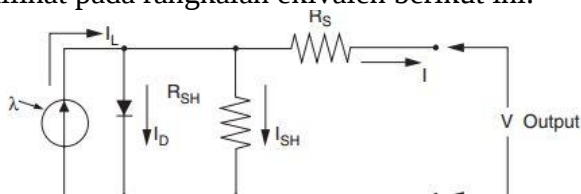
Sel *Photovoltaic* adalah suatu perangkat semikonduktor yang dapat mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Sistem sel PV terdiri dari *pn junction* atau ikatan antara sisi positif dan negatif didalam sebuah sistem semikonduktor[2].



Gambar 1. Mekanisme kerja sel PV[3]

2.2.3 Karakteristik I-V Photovoltaic

Secara umum parameter solar sel dapat dilihat pada rangkaian ekivalen berikut ini.



Gambar 2. Rangkaian ekivalen solar sel[4]

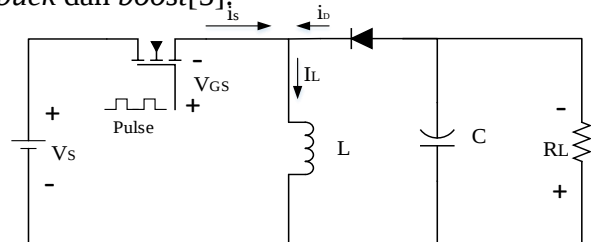
Arus I yang dihasilkan pada terminal *output* bernilai sama dengan arus I_L ketika diberi radiasi matahari dikurangi dengan nilai

arus I_D dan I_{SH} . R_S merupakan resistansi internal yang terjadi disebabkan adanya aliran arus, dipengaruhi juga oleh material semikonduktor, resistansi kontak dan lainnya. Resistansi shunt (R_{SH}) berbanding terbalik dengan arus bocor pada ground. Pada kondisi PV ideal $R_S = 0$ dan $R_{SH} = \infty$.

2.2 DC/DC Buck - Boost Converter

DC/DC Converter merupakan rangkaian elektronika power untuk mengubah suatu input tegangan DC (V_{in}) menjadi tegangan DC *output* (V_{out}) yang dapat berubah-ubah dan sebaliknya.

Buck-boost converter merupakan rangkaian pengatur tegangan DC yang dimana memiliki polaritas tegangan *output* yang terbalik dan tegangan *output* DC yang dihasilkan dapat dinaikkan atau diturunkan terhadap tegangan input. *Buck-boost converter* merupakan gabungan dari 2 konverter yaitu *buck* dan *boost*[5].



Gambar 3. Rangkaian *Buck-boost converter*[6]

2.2.1 Prinsip Kerja Buck-boost converter

Prinsip kerja *buck-boost converter* dibagi 2 yaitu kondisi ketika switch ON dan switch OFF.

1. Kondisi switch ON

Induktor mendapat tegangan supply dari input sehingga ada arus yang melewati komponen induktor sementara dioda bekerja sebagai *reverse bias* dan dalam waktu yang bersamaan kapasitor dalam kondisi membuang energi (*discharge*), maka tegangan induktor didapat persamaan[6]

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

Perubahan arus induktor adalah konstan, maka peningkatan arus induktor juga linear

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \quad (2)$$

2. Kondisi switch OFF

Tegangan *input supply* terputus sehingga menyebabkan penurunan arus dari sumber. Dioda bekerja sebagai *forward bias* ujung dioda

bernilai negatif. Induktor melepas energi yang tersimpan pada medan magnet dan menyuplai pada kapasitor (*charge*). Maka persamaan tegangan induktor[6]

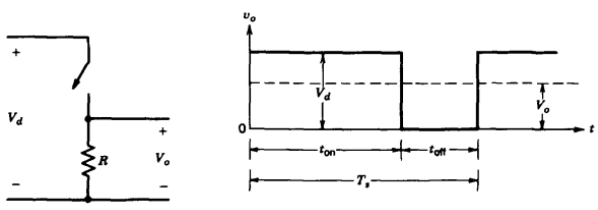
$$V_L = V_O = L \frac{di_L}{dt} \quad (3)$$

Dan persamaan arus induktor adalah

$$\frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{\Delta I_L}{(1-D)T} = \frac{V_O}{L} \quad (4)$$

2.3 Modulasi Lebar Pulsa (*pulse width modulation*)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan salah satu metode pengontrolan tegangan *output* yang memiliki frekuensi yang konstan. Caranya dengan mengatur waktu ON (t_{on}) pada periode penyaklaran (T_s) dalam 1 siklus. Hal ini disebut juga dengan *duty ratio* (D)[5].



Gambar 4. Rangkaian ekivalen dan grafik sinyal PWM[5]

Dutycycle diperoleh dari persamaan

$$D = \frac{t_{on}}{t_{off} + t_{on}} * 100\% = \frac{t_{on}}{T_s} * 100\% \quad (5)$$

Dimana t_{on} = waktu ketika sinyal ON dan t_{off} = waktu ketika sinyal OFF[5].

2.4 Battery Lithium-ion

Battery Lithium-ion merupakan pengembangan baru dari jenis baterai sekunder yang dapat diisi secara berulang-ulang. Teknologi baterai *lithium-ion* memiliki massa jenis lebih padat dibandingkan dengan *lead-acid*[4]. Baterai *lithium-ion* umumnya digunakan sebagai catu perangkat elektronik dan kendaraan listrik.



Gambar 5. Baterai *lithium-ion*[7]

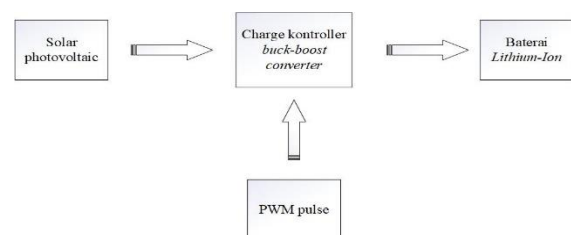
2.5 State of Charge (SOC)

State of charge dedefinisikan sebagai jumlah energi yang tersimpan pada baterai dalam bentuk persentase terhadap jumlah energi keseluruhan ketika baterai penuh[8]. Adapun persamaan nilai SOC ketika diukur dalam waktu (t) adalah[9] :

$$SOC(t) = \frac{\text{initial capacity at } t_0 + C(t)}{\text{Rated Capacity}} \times 100\% \quad (6)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada gambar 6 dibawah ini akan dilampirkan blok diagram rangkaian *solar PV battery charger* menggunakan topologi *buck-boost converter*. Dijelaskan dari blok diagram bahwa energi listrik berasal solar panel lalu dialirkan menuju rangkaian *buck-boost converter* lalu menuju baterai *lithium-ion*.



Gambar 6. Blok diagram solar PV battery charger menggunakan topologi *buck-boost converter*

3.1 Perancangan Rangkaian solar PV battery charger menggunakan topologi *buck-boost converter*

1. Solar PV

Datasheet Solar PV yang digunakan adalah merk "*Adity solar phtovoltaics modul*" 24V-290WP, model No. ADT 24290. Dengan

$V_{oc} = 43 \text{ V}$, $V_{mp} = 35 \text{ V}$, $I_{sc} = 8,87 \text{ A}$ dan $I_{mp} = 8,29 \text{ A}$. Dengan *setting* tegangan *input* antara 31,5-38,5 V.

2. Duty cycle

Merupakan pulsa kotak-kotak yang dihasilkan oleh PWM untuk men-trigger rangkaian *buck-boost converter* agar didapat tegangan yang sesuai.

$$\begin{aligned} -V_{out} &= -V_{in} \left(\frac{D}{1-D} \right) \\ -16,8 &= -38,5 \left(\frac{D}{1-D} \right) \\ -16,8(1-D) &= -38,5D \\ -16,8 + 16,8D &= -38,5D \\ D &= \frac{16,8}{55,3} \\ D &= 0,303 \end{aligned}$$

3. Perancangan Induktor

Induktor berfungsi untuk mengatur *ripple* arus dirangkaian dan juga sebagai penyimpan energi.

$$\begin{aligned} L_{min} &= \frac{Rl_{max} (1 - D_{min})^2}{2F_s} \\ L_{min} &= \frac{3 (1 - 0,303)^2}{2 * 25000} \\ L_{min} &= 0,0000291 \text{ H} \rightarrow 29,10 \mu\text{H} \end{aligned}$$

4. Perancangan Kapasitor

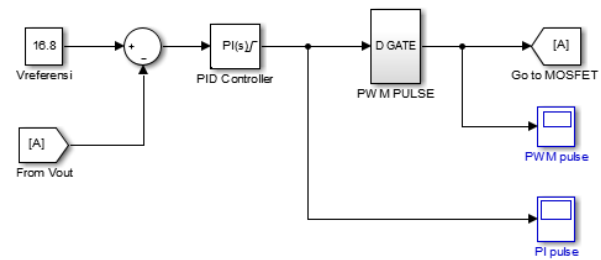
Kapasitor merupakan komponen yang berfungsi sebagai penentu besarnya riak tegangan yang diakibatkan perubahan nilai beban.

$$\begin{aligned} C_{min} &= \frac{D}{F_s * R_L} * \frac{V_o}{V_{cpp}} \\ C_{min} &= \frac{0,347}{25000 * 3} * \frac{16,8}{0,018} \\ C_{min} &= \frac{5,8296}{1350} = 4318 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Nilai kapasitansi kapasitor tertinggi berada pada kondisi $D = 0,347$ yaitu $4318 \mu\text{F}$. Maka dipilih kapasitor bernilai $4000 \mu\text{F}$.

5. Perancangan PID

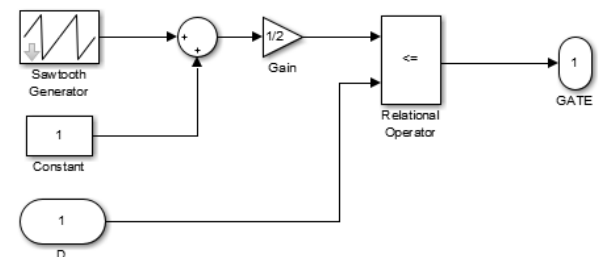
Pada artikel ini digunakan jenis pengontrol PI. Menggunakan metode *trial and error* diperoleh konstanta masing-masing K_p dan K_i yaitu 8 dan 0,5.



Gambar 7. Rangkaian kontrol PI

6. Kontroler PWM

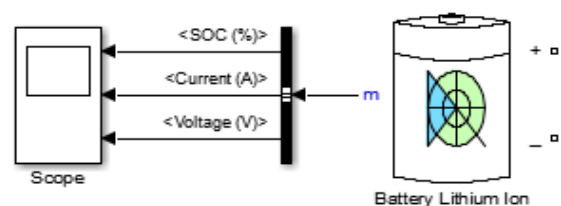
PWM merupakan parameter penting agar rangkaian *buck-boost converter* bisa bekerja sesuai fungsinya.



Gambar 8. Rangkaian kontrol PWM

7. Desain baterai *lithium-ion*

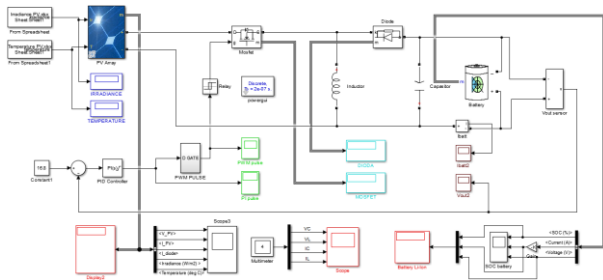
Jenis baterai yang digunakan pada penelitian kali ini adalah jenis baterai *lithium-ion* (Li-Ion). Baterai *lithium-ion* memiliki keunggulan berupa kepadatan energi yang baik, memiliki volume yang ringan dibandingkan dengan baterai isi ulang lain dari berat yang sama. Baterai didesain berkapasitas 20,8 Ah dan memiliki tegangan nominal 14,8 V.



Gambar 9. Blok baterai *lithium-ion*

8. Perancangan rangkaian *solar PV battery charger* menggunakan topologi *buck-boost converter*

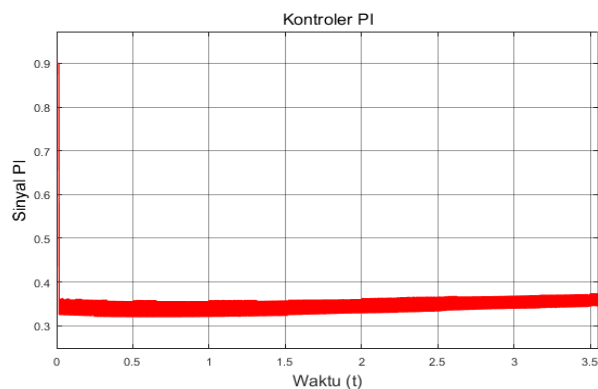
Setelah semua parameter selesai dihitung, nilai perhitungan tersebut dimasukkan kedalam blok rangkaian yang dirancang di *software MATLAB-simulink*. Seperti terlihat pada gambar di bawah ini



Gambar 10. Pemodelan rangkaian solar PV battery charger menggunakan topologi buck-boost converter

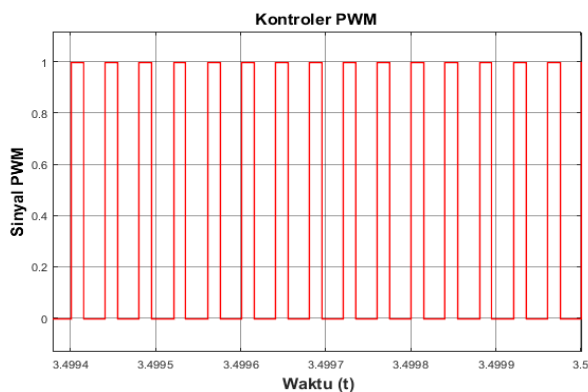
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil simulasi solar PV battery charger menggunakan topologi buck-boost converter. Pertama akan ditampilkan grafik kontroler PI dan PWM hasil simulasi rangkaian.



Gambar 11. Hasil kontroler PI

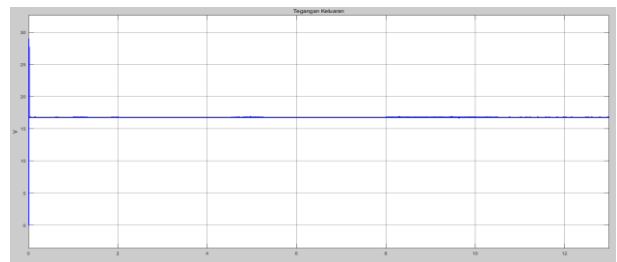
Dapat dilihat hasil kontroler PI sudah dapat bekerja dengan efektif. Sinyal PI diawal mengalami overshoot dengan nilai lebih dari 0,9 kemudian turun dan stabil diantara 0,3-0,4 yang merupakan nilai *dutycycle* kontrol PWM.



Gambar 12. Hasil kontroler PWM

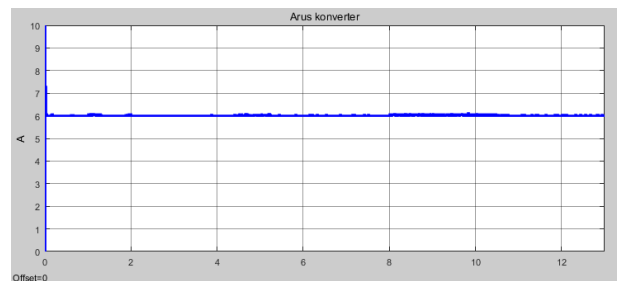
Grafik PWM diatas memperlihatkan gelombang pulsa kotak 1 dan 0. Lebar pulsa kota tersebut dipengaruhi oleh nilai *dutycycle* yang dihasilkan kontrol PI, periode gelombang kotak adalah jumlah waktu t_{on} dan t_{off} .

Kemudian akan ditampilkan grafik arus dan tegangan hasil simulasi menggunakan beban R.



Gambar 13. Tegangan keluaran hasil simulasi menggunakan beban R

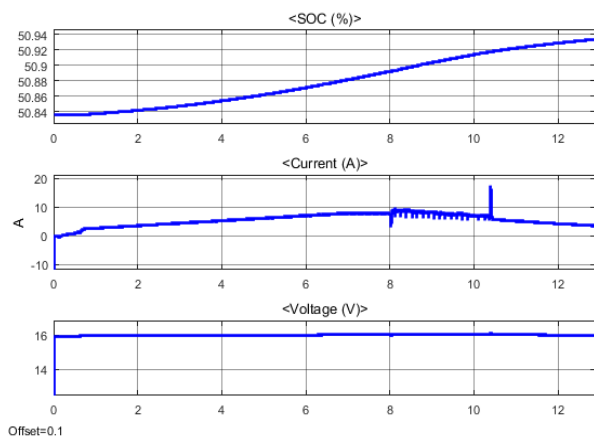
Grafik diatas menampilkan tegangan keluaran konverter hasil simulasi rangkaian buck-boost converter menggunakan beban R 2,78 ohm dengan input SPV. Tegangan konverter telah menunjukkan tegangan yang stabil pada nilai 16,8 V.



Gambar 14. Arus keluaran hasil simulasi menggunakan beban R

Grafik diatas memperlihatkan arus keluaran hasil simulasi rangkaian buck-boost converter menggunakan beban R 2,78 ohm dengan input SPV. Arus keluaran telah menunjukkan nilai yang stabil dengan arus 6 A

Ketika tegangan dan arus telah stabil pada masing-masing nilai tersebut. Beban R kemudian diganti dengan baterai *lithium-ion* untuk dilihat karakteristik pengisian muatannya



Gambar 15. Keluaran SOC, arus dan tegangan pengisian baterai *lithium-ion* kondisi 50 %

Dapat dilihat pada grafik hasil simulasi pengisian baterai *lithium-ion* diatas sudah bekerja dengan baik. SOC baterai mengalami kenaikan 50,84% hingga 50,94% Tegangan pengisian naik pada nilai 15,9 V hingga 16 V.

5 KESIMPULAN

Artikel ini menjelaskan perancangan *solar PV battery charger* menggunakan topologi *buck-boost converter* dengan beban baterai *lithium-ion* berbasis kontroler PI dan PWM menunjukkan hasil simulasi ketika pengisian muatan baterai, tegangan pengisian mengalami kenaikan hingga penuh 16,8 V sedangkan arus pengisian mengalami penurunan hingga penuh dibawah 0,5 A. kontroler PI dan PWM mengatur agar *dutycycle* dapat berubah secara otomatis mengikuti kondisi beban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science*, 2nd ed. chennai: wiley, 2011.
- [2] wulandari Handini, *Performa Sel Surya tersensitasi zat pewarna (DSSC) berbasis ZnO dengan variasi tingkat pengisian dan besar kristalit Tio2*. jakarta: FT-UI, 2008.
- [3] K. Mertens, *Photovoltaics fundamentals, Technology and practice*, First. united kingdom: wiley, 2014.
- [4] M. R. Patel, *Wind and solar power systems : Design, Analysis and*

operation, Second. boca raton, florida: Taylor and Francis Group, 2006.

- [5] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, "Power Electronics Converters, Applications and Design." john wiley & sons, Inc., singapore, p. 820, 2003.
- [6] M. K. Kazimierczuk, *Pulse-Width Modulated DC-DC Power Converters*, Second. new delhi: john wiley & sons, Inc., 2016.
- [7] J. Larminie and J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained: Second Edition*, Second. southern gate, Chichester: john wiley & sons, Inc., 2003.
- [8] S. Sumathi, L. Ashok Kumar, and P. Surekha, *Solar PV and Wind Energy Conversion Systems*, XXIV. springer International Publishing switzerland, 2015.
- [9] Y. W. Wong, L. W. Chong, R. K. Rajkumar, W. Y. Leng, and R. K. Rajkumar, "A new state-of-charge estimation method for valve regulated lead acid batteries," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 3, pp. 584–595, 2017.