

## **Implementasi Modul Penyimpanan Energi Ganda untuk Solar Home System**

**Cahyantari Ekaputri<sup>1</sup>; Muhammad Rifqi Azmi<sup>2</sup>; Sony Sumaryo<sup>3</sup>; M. Roihan<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Universitas Telkom

<sup>4</sup> Akademi Teknik Telekomunikasi Sandhy Putra Jakarta

<sup>1</sup> [cahyantarie@telkomuniversity.ac.id](mailto:cahyantarie@telkomuniversity.ac.id)

### **Abstract**

*Solar Home System (SHS) is an application of solar power plants using photovoltaic (PV) as a renewable energy that installed in housing. SHS needs energy storage to store the energy produced by PV. There are many energy storage that can be used, but mostly, SHS uses battery as the energy storage. In this research, we used dual storages system, such that pumped storage as hydro energy storage and battery. This study proposes a module, also known by Solar Charge Controller (SCC), can change the energy captured by PV and store the energy to dual energy storages (battery and pump storage). SCC optimized the performance of PV by finding/tracking the point of maximum power, also known by Maximum Power Point Tracking (MPPT). SCC also consists of synchronous buck converter, which is controlled by PWM (Pulse Width Modulation) from microcontroller, and MOSFET driver as power switching device. From this study, the efficiency of the SCC with MPPT algorithm reaches 83.78% while the SCC without MPPT algorithm 75.87 %. So that the SCC with MPPT algorithm is 7.91% more efficient than without MPPT algorithm. Based on this study, using dual energy storages (battery and pump storage) can save power of 95.84 Wh in battery and 1030 liters of water in pump storage.*

**Keywords:** Solar Home System (SHS), photovoltaic (PV), Solar Charge Controller (SCC), Maximum Power Point Tracking (MPPT), pump storage, dual energy storages

### **Abstrak**

*Solar Home System (SHS) adalah aplikasi pembangkit listrik tenaga surya yang menggunakan Photovoltaic (PV) sebagai energi terbarukan yang dipasang di perumahan. SHS membutuhkan penyimpanan energi untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh PV. Ada banyak penyimpanan energi yang dapat digunakan, tetapi sebagian besar, SHS menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi. Dalam penelitian ini, kami menggunakan sistem penyimpanan ganda, seperti penyimpanan yang dipompa sebagai penyimpanan energi hidro dan baterai. Studi ini mengusulkan modul, juga dikenal dengan Solar Charge Controller (SCC), dapat mengubah energi yang ditangkap oleh PV dan menyimpan energi menjadi penyimpanan energi ganda (baterai dan penyimpanan pompa). SCC mengoptimalkan kinerja PV dengan menemukan / melacak titik daya maksimum, juga dikenal dengan Maximum Power Point Tracking (MPPT). SCC juga terdiri dari konverter buck sinkron, yang dikendalikan oleh PWM (Pulse Width Modulation) dari mikrokontroler, dan driver MOSFET sebagai perangkat switching daya. Dari penelitian ini, efisiensi SCC dengan algoritma MPPT mencapai 83,78% sedangkan SCC tanpa algoritma MPPT 75,87%. Sehingga SCC dengan algoritma MPPT adalah 7,91% lebih efisien daripada tanpa algoritma MPPT. Berdasarkan penelitian ini, menggunakan penyimpanan energi ganda (baterai dan penyimpanan pompa) dapat menyimpan daya pada baterai sebesar 95,84 Wh dan 1030 liter air pada pump storage.*

**Kata kunci:** Solar Home System (SHS), photovoltaic (PV), Solar Charge Controller (SCC), Maximum Power Point Tracking (MPPT), pump storage, dual energy storages

## 1. PENDAHULUAN

SHS (*Solar Home System*) merupakan pengaplikasian dari pembangkit listrik tenaga surya menggunakan PV (*photovoltaic*) sebagai energi terbarukan yang biasa dipasang di perumahan [1]. Pada umumnya, sistem ini membutuhkan penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh PV. Metode penyimpanan energi listrik yang paling sering digunakan adalah baterai [2-6]. Namun, harga baterai yang mahal dan daya tahan yang singkat membuat beberapa negara seperti Jepang menggunakan teknologi *pumped storage* atau penyimpanan potensial air [7,8]. Sistem SHS membutuhkan modul pengendali untuk mengatur besar tegangan keluaran PV, *synchronous buck converter* [9,10], agar dapat disimpan pada baterai dan penyimpanan potensial air.

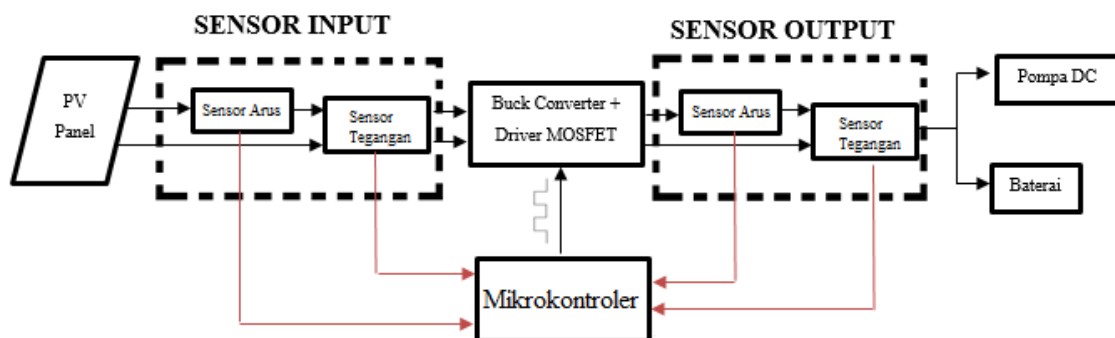
Titik kerja maksimum sel surya berubah seiring perubahan radiasi matahari dan suhu sel [11]. Untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan dapat dilakukan dengan mengoptimasi sinar radiasi matahari yang ditangkap, seperti dengan menggerakkan sel surya sesuai arah sudut datangnya matahari [12,13], mengonvergensi sinar matahari yang masuk [14], dan lain-lain. Metode lain adalah dengan mencari titik kerja maksimum dan mempertahankannya menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [15] dengan algoritma *Perturb & Observe* (P&O) [16].

Pada penelitian ini dirancang sebuah modul yang dapat mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh sel surya menggunakan metode MPPT dengan algoritma P&O dan dapat disimpan pada penyimpanan energi ganda, yaitu baterai dan *pumped storage* atau penyimpanan potensial air.

## 2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

### 2.1. Desain Sistem

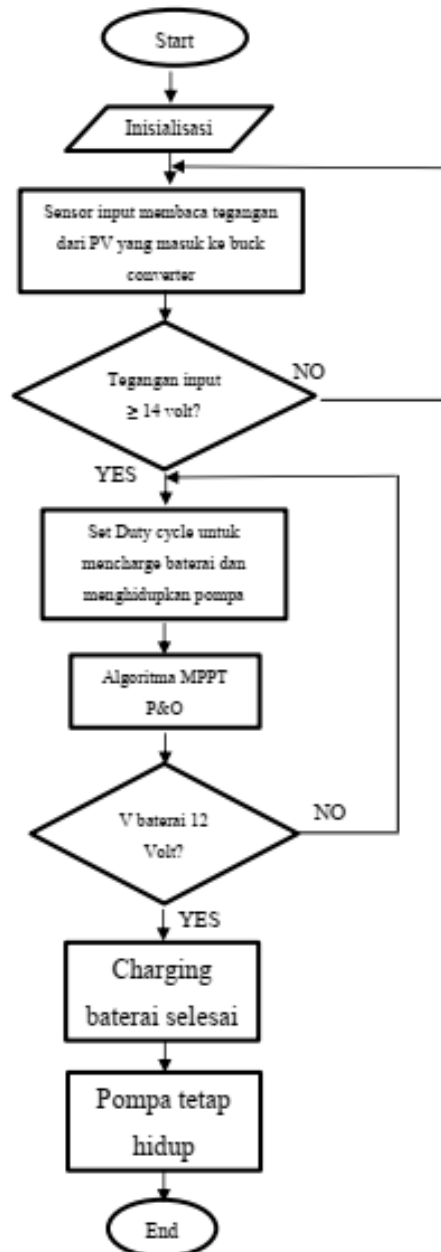
Sistem yang dirancang adalah DC *converter* tipe *switching* berupa *synchronous buck converter* untuk mengatur besarnya level tegangan yang masuk ke sistem penyimpanan energi berupa dua buah baterai 12 Volt dengan kapasitas masing-masing 12 AH, serta sistem penyimpanan energi potensial air menggunakan pompa air DC 12 Volt.



Gambar 1. Diagram Blok Modul Penyimpanan Energi Ganda

Berdasarkan Gambar 1, *synchronous buck converter* menerima tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PV. Sensor input yang berupa sensor tegangan dan arus membaca arus dan tegangan yang masuk ke rangkaian *synchronous buck converter* dan masuk ke algoritma MPPT metode P&O. Algoritma MPPT tersebut memberi keputusan apakah tegangan akan dinaikan atau tetap tergantung kebutuhan. Setelah itu dilakukan perhitungan besar sinyal PWM yang harus dihasilkan untuk men-switch driver MOSFET pada rangkaian *synchronous buck converter* sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang tetap. Tegangan DC keluaran dari *synchronous buck converter* akan digunakan untuk mengisi daya baterai ataupun untuk menghidupkan pompa DC sehingga pompa dapat mengalirkan air dari penampungan bawah ke penampungan atas.

Perancangan algoritma modul penyimpanan energi ganda ditunjukkan pada diagram alir pada Gambar 2. Perancangan algoritma meliputi pembuatan algoritma PWM, algoritma pembacaan sensor arus dan sensor tegangan serta pemrograman algoritma MPPT (*Maximum Power Point Tracker*).



**Gambar 2.** Diagram Alir Modul Penyimpanan Energi Ganda

## 2.2. Rangkaian *Synchronous Buck Converter*

**Tabel 1.** Spesifikasi *Synchronous Buck Converter*

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| Tegangan Masukan ( $V_{in}$ )           | 17.8 Volt |
| Tegangan Keluaran ( $V_{out}$ )         | 12 Volt   |
| Arus Keluaran Maksimum ( $I_{out}$ )    | 7 Ampere  |
| Frekuensi Switching MOSFET ( $f_{sw}$ ) | 7.8 KHz   |
| Efisiensi                               | 80 %      |

*Synchronous buck converter* digunakan untuk mengendalikan tegangan dari panel surya ke sistem penyimpanan berupa baterai dan pompa air DC dengan cara penurunan tegangan agar dapat digunakan untuk mengisi baterai 12 Volt ataupun untuk menghidupkan pompa air DC 12 Volt. Spesifikasi *synchronous buck converter* yang akan dirancang ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan spesifikasi pada Tabel 1, dilakukan perhitungan nilai *duty cycle*, nilai induktansi dan kapasitor output yang dibutuhkan.

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (1)$$

$$I_{ripple} = 35\% \cdot I_{out} \quad (2)$$

$$L_{min} = (V_{out} - V_{in}) \frac{D}{f_{sw} \cdot I_{ripple}} \quad (3)$$

$$C_{out} = \frac{I_{ripple}}{8 \cdot f_{sw} \cdot V_{ripple}} \quad (4)$$

dimana  $D$  : nilai *duty cycle*

$L_{min}$  : nilai induktansi (Henry)

$I_{ripple}$  : arus *ripple* (Ampere)

$C_{out}$  : kapasitor output (Farad)

$V_{ripple}$  : tegangan *ripple* (Volt)

Perancangan selanjutnya adalah menghitung lebar sinyal PWM sebagai saklar. Pada Gambar 3 dapat dilihat durasi waktu saat kondisi *switch on* dan kondisi *switch off*. Kemudian menentukan *inductor continuous current mode*, yaitu arus yang melewati induktor (*charge*) saat kondisi *switch on* dan arus yang keluar dari induktor (*discharge*) saat kondisi *switch off*.

$$T_{on} = \frac{D}{f_{sw}} \quad (5)$$

$$T_{off} = \frac{1-D}{f_{sw}} \quad (6)$$

$$\Delta I_L^+ = \frac{V_{in} - V_{out}}{L_{min} \cdot t_{on}} \quad (7)$$

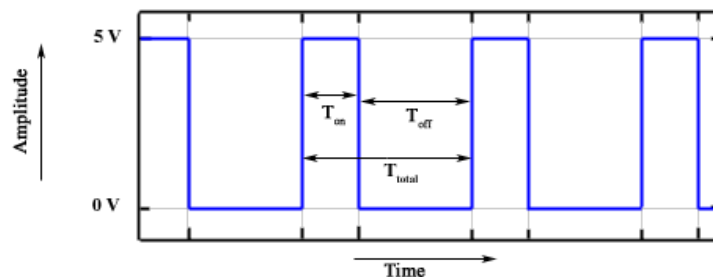
$$\Delta I_L^- = \frac{-V_{out}}{L_{min} \cdot t_{off}} \quad (8)$$

dimana  $T_{on}$  : durasi waktu saat kondisi *switch on* (s)

$T_{off}$  : durasi waktu saat kondisi *switch off* (s)

$\Delta I_L^+$  : arus *charge* induktor saat *switch on* (Ampere)

$\Delta I_L^-$  : arus *discharge* induktor saat *switch off* (Ampere)



Gambar 3. Sinyal PWM

MOSFET merupakan komponen yang sangat penting dalam merancang *synchronous buck converter*. Fungsinya untuk *power switching device* yang memiliki keunggulan dalam hal *switching frequency* yang sangat tinggi dan rugi-rugi *switching* yang rendah. Penentuan MOSFET harus

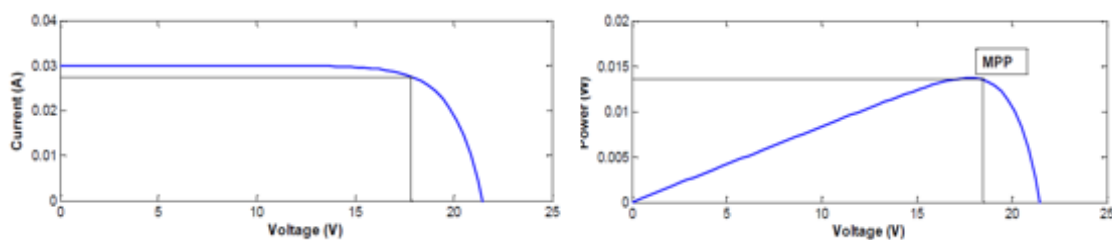
memperhatikan nilai tegangan dan arus operasi karena operasi saklar dalam kondisi *on* dan *off*, sehingga nilai tegangan drain ke source puncak  $V_{DS}$  dari MOSFET sebesar dua kali tegangan atau tegangan maksimum sumber  $V_{DD}$ .

$$V_{DS} = 2 \cdot V_{DD} \quad (9)$$

Dirancang pula rangkaian driver MOSFET untuk menaikkan level tegangan PWM supaya MOSFET yang digunakan dapat bekerja dengan baik sebagai saklar.

### 2.3. Algoritma *Maximum Power Point Tracker* (MPPT)

Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya memiliki karakteristik yang tidak linear. Hal itu disebabkan karena tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya bergantung pada suhu dan radiasi matahari yang tidak selalu konstan. Karakteristik tegangan dan arus yang dihasilkan sel surya ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 4.** Karakteristik Arus dan Daya terhadap Tegangan yang Dihasilkan Sel Surya

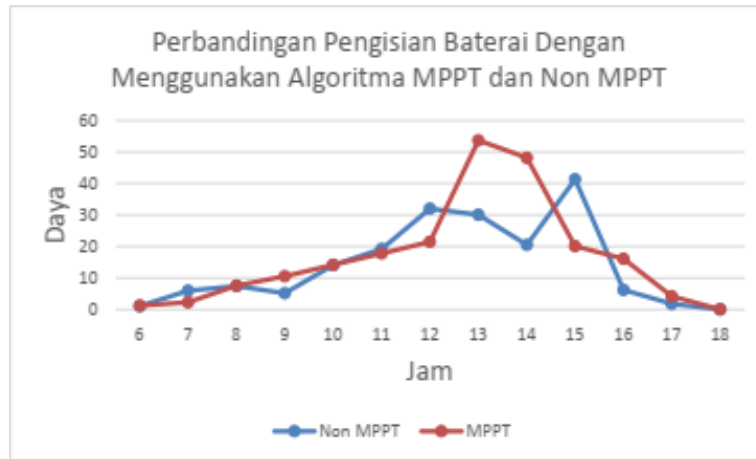
Pada Gambar 5, titik daya maksimum atau *Maximum Power Point* (MPP) dimana pada titik tersebut sel surya bekerja pada efisiensi terbesar dan menghasilkan daya output maksimal. Sel surya tidak akan secara otomatis bekerja pada titik kerja maksimumnya, melainkan harus dikendalikan. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah metode yang digunakan untuk mencari titik kerja maksimum sel surya dan mempertahankan sel surya bekerja di titik tersebut. Rangkaian MPPT dapat mengatur daya keluaran modul photovoltaic agar selalu berada pada titik daya maksimum dengan cara mengatur tegangan dan arus sel surya untuk mendapatkan daya maksimum yang dapat dihasilkan. Penggunaan MPPT meningkatkan efisiensi daya listrik yang dihasilkan sistem sel surya, karena system dikendalikan untuk terus menghasilkan daya maksimal. Salah satu metode kendali MPPT adalah algoritma kendali *Perturb & Observe* (P&O). P&O disebut juga dengan metode *hill climbing*, yang mengacu pada karakteristik V-P dari sel surya.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian performansi dari algoritma MPPT yang telah dirancang dilakukan dengan membandingkan daya yang dihasilkan oleh sel surya dan dapat disimpan oleh baterai ketika menggunakan algoritma MPPT dan tidak menggunakan algoritma MPPT. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 6. Jumlah daya yang disimpan baterai apabila menggunakan algoritma MPPT sebesar 182 Wh dengan efisiensi 83,78%, sedangkan apabila tidak menggunakan algoritma MPPT sebesar 165 Wh dengan efisiensi 75,87%. Berdasarkan hasil pengujian, apabila menggunakan algoritma MPPT akan menghasilkan daya lebih besar 7,91% dibandingkan dengan non-algoritma MPPT.

Pengujian modul penyimpanan ganda dilakukan dengan melakukan pengisian baterai dan penyimpanan energi potensial air menggunakan pompa. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan pengujian, pada jam 06.00-10.00 dan 17.00-18.00 air tidak terangkat karena sel surya hanya menghasilkan tegangan dibawah tegangan kerja minimum dari pompa. Pada pukul 06.00-

08.00 sel surya tidak dapat mengisi baterai karena daya yang dihasilkan sel surya digunakan penuh untuk men-supply daya ke pompa. Dengan kata lain terdapat rugi-rugi daya pada pompa. Hal ini disebabkan karena arus yang dikeluarkan sel surya terbagi ke baterai dan pompa sehingga baterai dan pompa tidak dapat bekerja secara optimal.



**Gambar 5.** Pengujian Performansi Algoritma MPPT dan Non-Algoritma MPPT

**Tabel 2.** Pengujian Modul Penyimpanan Ganda

| Waktu        | Baterai (Watt)  | Penyimpanan Air (Liter) |
|--------------|-----------------|-------------------------|
| 06.00        | 0               | (air tidak terangkat)   |
| 07.00        | 0               | (air tidak terangkat)   |
| 08.00        | 0               | (air tidak terangkat)   |
| 09.00        | 0.18            | (air tidak terangkat)   |
| 10.00        | 0.65            | (air tidak terangkat)   |
| 11.00        | 11.32           | 140                     |
| 12.00        | 14.23           | 160                     |
| 13.00        | 15.28           | 190                     |
| 14.00        | 23.17           | 220                     |
| 15.00        | 14.53           | 165                     |
| 16.00        | 12.36           | 155                     |
| 17.00        | 4.12            | (air tidak terangkat)   |
| 18.00        | 0               | (air tidak terangkat)   |
| <b>Total</b> | <b>95.84 Wh</b> | <b>1030 L</b>           |

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan algoritma MPPT P&O dapat meningkatkan daya sebesar 10,4% dibandingkan dengan non-algoritma MPPT. Modul penyimpanan ganda dapat menghasilkan daya pada baterai sebesar 95,84 Wh dan menyimpan energi potensial air sebanyak 1030 L. Terdapat rugi-rugi daya karena arus yang dikeluarkan sel surya terbagi ke baterai dan pompa sehingga baterai dan pompa tidak dapat bekerja secara optimal. Sehingga system penyimpanan energi ganda dengan menggunakan baterai dan potensial air tidak optimal apabila menggunakan sel surya skala kecil seperti di perumahan. Penyimpanan ganda akan lebih optimal apabila dilakukan di lingkup yang lebih luas (skala menengah atau besar), seperti di pedesaan

Jepang. Saran untuk pengembangan selanjutnya dilakukan metode kendali untuk penentuan arus saat pengisian baterai dan penyalan pompa agar dapat bekerja secara optimal.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y Nurfaidah et al, "Analysis of smart house power savings with on-grid photovoltaic power system", *Journal of Physics: Conference Series* vol. 1367, p. 02047, 2019. DOI:10.1088/1757-899X/771/1/012010
- [2] G. Srisadad, "Perancangan Simulasi Sistem Rumah Solar Cerdas Terhubung Jaringan PLN", Depok, 2012.
- [3] M. H. W. Pamungkas et al, "Perancangan dan Implementasi Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Pada Skuter Beroda Dua Seimbang Otomatis", *eProceedings of Engineering* vol 3 (2), 2016.
- [4] S. K. Ramadhanti et al, "Desain Sistem Penggunaan Panel Surya Off-grid Untuk Lampu Belajar Siswa Berbasis Baterai Di Sekolah Yang Terletak Di Desa Terpencil", *eProceedings of Engineering* vol 6 (1), 2019.
- [5] S. Halimah et al, "Optimasi Pemasangan Baterai Untuk Rumah Tinggal Ber-fotovoltaik (level Pelanggan Listrik 4400 Va Di Indonesia)", *eProceedings of Engineering* vol 6 (2), 2019.
- [6] D. Chairunnisa et al, "Sistem Suplai Energi Listrik Untuk Penggerak Jemuran Otomatis Dengan Memanfaatkan Solar Cell", *eProceedings of Engineering* vol 6 (2), 2019.
- [7] Trevor M. Letcher, "Managing Global Warming: An Interface of Technology and Human Issues", Academic Press, 2019, <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01028-5>.
- [8] G. Prasetya, "Desain Dan Implementasi Modul Pembangkit Listrik Mikrohidro Pada Rumah Dengan Pompa Penyimpanan Energi", *eProceedings of Engineering* vol 5 (3), 2018.
- [9] A. Kislovski, R. Redl, and N. Sokal, "Dynamic Analysis of Switching-Mode DC/DC Converters", New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [10] "LC Selection Guide for the DC-DC Synchronous Buck Converter", Semiconductor Component Industries, p. 1, 2013.
- [11] G. M. A., "Solar Cells Operating Principles, Technology and System Application", New Jersey: Prentice-Hall, 1982.
- [12] R Rinaldi et al, "Sistem Penggerak Panel Photovoltaic Menggunakan Aplikasi Berbasis Android", *eProceedings of Engineering* vol 6 (2), 2019.
- [13] B. A. Supian, "Increasing the output power of solar panel by using cooling system", *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* vol 830, p. 032039, 2020. DOI:10.1088/1757-899X/830/3/032039
- [14] B Sri Aprillia et al, "Solar Cell Output Optimization using Light Convergence Method", *MS&E Journal* vol 771 (1), p. 012010, 2020. DOI:10.1088/1757-899X/771/1/012010
- [15] B. Tito, "Metode MPPT Baru Untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali PI", Depok, 2012.
- [16] R. T. Widodo, A. and P. Sejati, "Maximum Power Point Tracker Sel Surya Menggunakan Algoritma Perturb And Observe," *Industrial Electronic Seminar (IES)*, Surabaya, 2009.