

# Penggunaan Algoritma Gangguan Dan Observasi Pada Sistem Pelacak Titik Daya Maksimum Pada Sel Surya Menggunakan Konverter DC-DC Fotovoltaik

## *Use of Perturbation and Observation Algorithm in Tracking System for Maximum Power Point in Solar Cells Using DC-DC Photovoltaics Converters*

Anggara Trisna Nugraha\*<sup>1</sup>, Alwy Muhammad Ravi<sup>2</sup>, Mayda Zita Aliem Tiwana<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>1,2,3</sup>Program Studi D4-Teknik Kelistrikan Kapal, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

\*e-mail: [anggaranugraha@ppns.ac.id](mailto:anggaranugraha@ppns.ac.id)<sup>1</sup>, [muhhammad.ravi@student.ppns.ac.id](mailto:muhhammad.ravi@student.ppns.ac.id)<sup>2</sup>, [Mayda.zita@student.ppns.ac.id](mailto:Mayda.zita@student.ppns.ac.id)<sup>3</sup>

Received:	Revised:	Accepted:	Available online:
01.01.2021	01.01.2021	01.01.2021	01.01.2021

**Abstrak:** Efisiensi modul sel surya (sel fotovoltaik) masih rendah, tergantung pada radiasi matahari dan suhu modul fotovoltaik. Oleh karena itu diperlukan suatu teknologi untuk mengoptimalkan daya keluaran modul fotovoltaik (PV) yang biasa disebut dengan teknologi *maximum power point tracking* (MPPT). Di antara semua strategi MPPT, *distraction* (P&O) adalah teknik yang mudah digunakan. Untuk menggunakan teknologi MPPT, diperlukan konverter DC-DC. Penelitian ini mengusulkan beberapa konverter DC-DC, seperti *buck converter*, *boost*, *buck-boost*, *cuk* dan *sepic* untuk mendapatkan titik daya maksimum (MPP) dari modul PV yang berdiri sendiri. Uji perubahan radiasi matahari digunakan untuk mengevaluasi daya keluaran PV. Tercatat beberapa perbandingan, seperti tegangan terbaik untuk masing-masing konverter DC-DC, riak yang dihasilkan dan daya keluaran terbaik, melalui penelitian simulasi, evaluasi, perbandingan kinerja dan karakteristik masing-masing konverter DC-DC. Perangkat lunak PSIM digunakan untuk mensimulasikan sistem.

**Kata kunci:** *Photovoltaic, DC-DC Converter, Perturb and Observe (P&O)*

**Abstract:** The efficiency of solar cell modules (photovoltaic cells) still low, depending on solar radiation and the temperature of the photovoltaic modules. Therefore, we need a technology to optimize the output power of the photovoltaic module (PV) which is commonly referred to as the maximum power point tracking (MPPT) technology. Among all the MPPT strategies, *distraction* (P&O) is easy to use. To use MPPT technology, a DC-DC converter is required. This research proposes several DC-DC converters, such as *buck converter*, *boost*, *buck-boost*, *cuk*, and *Sepic* to get the maximum power point (MPP) from a stand-alone PV module. Solar radiation change test to evaluate the PV output power. Several comparisons were recorded, such as the best voltage for each DC-DC converter, the resulting ripple, and the best output power through simulation research, evaluate and compare the performance and characteristics of each DC-DC converter. PSIM software is used to simulate the system.

**Keywords:** *Photovoltaic, DC-DC Converter, Perturd and Observe (P&O)*

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini, karena menipisnya cadangan bahan bakar fosil, maka penggunaan energi terbarukan untuk pembangkit listrik sangat penting dilakukan [1]. Energi matahari merupakan sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Penggunaan sel surya (*photovoltaic cell*) dapat menghasilkan listrik langsung dari energi matahari [2].

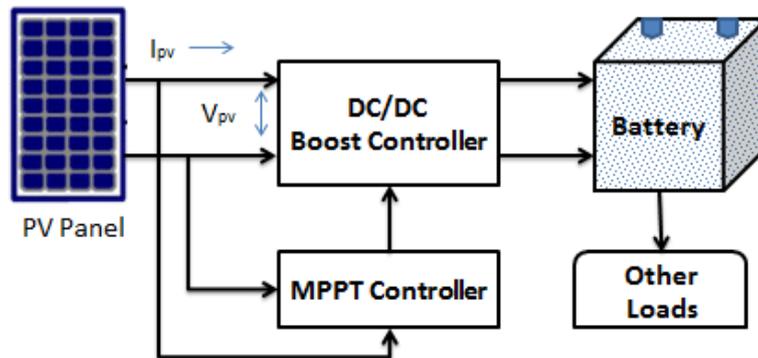
*Photovoltaic* (PV) memiliki banyak keunggulan antara lain tidak ada bahan bakar, tidak ada polusi, biaya perawatan yang rendah, senyap, tidak ada konsumsi energi, dan dapat diperoleh hampir di mana saja [3]. Salah satu sistem pembangkit tenaga surya adalah sistem pembangkit listrik tenaga fotovoltaik mandiri, yaitu sistem pembangkit listrik tenaga surya yang berdiri sendiri atau tidak terkoneksi dengan sistem jaringan PLN. Sistem ini cocok untuk meningkatkan kualitas daya jaringan listrik atau daerah terpencil. Aplikasi independen dari sistem fotovoltaik termasuk penerangan jalan, kendaraan listrik, penerangan rumah, dan lain-lainnya [4].

Masalah utama dalam menggunakan modul fotovoltaik adalah efisiensinya yang rendah, terutama dalam kondisi radiasi matahari rendah. Sinar matahari yang diterima modul PV tergantung pada cuaca dan posisi matahari. Daya yang dihasilkan modul PV tidak konstan, dan efisiensinya hanya sekitar 9-17% [5].

Selain itu, karakteristik arus dan tegangan modul PV bersifat non linier dan akan bervariasi dengan suhu modul PV dan radiasi matahari yang diterima. Secara umum, *power* memiliki beberapa poin [6]. Daya dan tegangan (P-V) atau arus dan tegangan (I-V) disebut titik daya maksimum. Titik ini merupakan titik pada kurva daya keluaran PV, sehingga modul PV bekerja dengan efisiensi yang maksimal dan menghasilkan daya keluaran yang maksimal [7]. Lokasi titik daya maksimum (MPP) tidak diketahui, tetapi dapat ditemukan dengan perhitungan. Oleh karena itu, diperlukan *tracker* titik daya maksimum (MPPT) untuk menemukan titik MPP dan menjaga tegangan PV pada titik MPP tersebut [8]. Sejauh ini, teknologi MPPT masih dalam pengembangan.

Sejauh ini, beberapa teknologi MPPT telah dikembangkan. Ada metode Gangguan dan observasi (P&O) [9], metode konduktansi tambahan (IC) [3], metode logika *fuzzy* [4] dan sebagainya. Di antara semua teknik MPPT, *Perturbation and Observation* (P&O) merupakan teknik yang mudah digunakan dan diterapkan.

MPPT membutuhkan konverter DC-DC sebagai aktuator untuk mengatur tegangan keluaran PV pada titik daya maksimum. Konverter DC-DC bertindak sebagai penghubung antara modul PV dan beban [10]. Algoritma *Perturb and Observe* (P&O) mengontrol *duty cycle* dari konverter DC-DC sesuai dengan perubahan suhu PV dan radiasi matahari agar sesuai dengan titik daya maksimum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar. 1. Diagram Sistem MPPT

Berbagai jenis dan topologi konverter DC-DC beserta turunannya telah dan sedang dikembangkan. Ini termasuk konverter penguat, konverter *buck*, konverter *buck-boost*, konverter induktansi primer ujung tunggal (*SEPIC*) konverter, konverter *cuk*, dll. Setiap konverter DC-DC memiliki kekurangan dan kelebihan tersendiri. Masing-masing optimal bila ditempatkan di sistem yang sesuai.

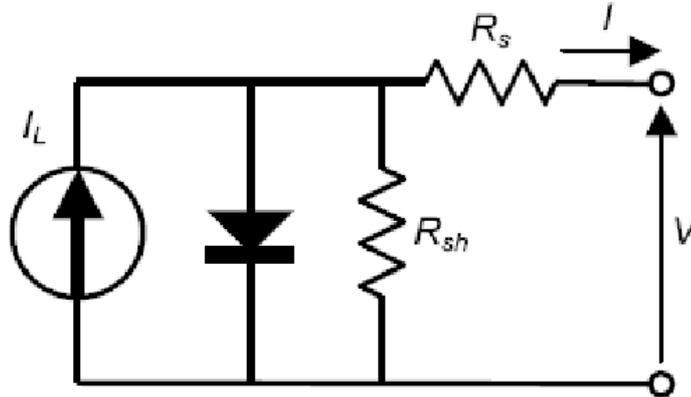
Penelitian ini mengusulkan beberapa konverter DC-DC, seperti konverter *boost*, konverter *buck*, konverter *buck-boost*, konverter *cuk*, dan konverter *sepic* untuk memanfaatkan sepenuhnya poin MPP modul PV independen [11]. Algoritma Gangguan dan observasi (P&O) digunakan untuk mengontrol tegangan keluaran PV pada konverter DC-DC untuk menghasilkan daya keluaran yang maksimal. Uji perubahan radiasi matahari untuk mengevaluasi daya keluaran PV. Dengan memperhatikan beberapa perbandingan, seperti tegangan optimal masing-masing konverter DC-DC, perbedaan antara riak yang dihasilkan dan daya keluaran maksimum, melalui penelitian simulasi, evaluasi, perbandingan kinerja dan karakteristik masing-masing konverter DC-DC. Perangkat lunak PSIM digunakan untuk mensimulasikan sistem [12]. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi modul sel surya (sel fotovoltaik) yang masih rendah melalui pemanfaatan teknologi untuk mengoptimalkan daya keluaran modul fotovoltaik (PV) yang biasa disebut dengan teknologi *maximum power point tracking* (MPPT), menggunakan metode *distraction* (P&O) karena sangat mudah diimplementasikan [13].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Pemodelan Photovoltaic (PV)*

Modul PV sebenarnya terdiri dari bahan semikonduktor p-n. Bahan ini memiliki sifat mampu menghasilkan arus listrik (elektron) saat terkena cahaya. Besarnya arus yang dihasilkan memiliki hubungan linier dengan besarnya radiasi matahari yang diterima [14].

Oleh karena itu, menurut keadaan sebenarnya dari pemodelan PV, pemodelan PV dapat digambarkan sebagai rangkaian yang terdiri dari sumber arus, komponen semikonduktor (dioda) dan resistor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar. 2. Rangkaian Ekuivalen PV

Model matematis modul PV merupakan rangkaian arus hubung singkat (Isc) dari PV. Arus hubung singkat dipengaruhi oleh fungsi radiasi matahari (S) dan tegangan rangkaian terbuka (Voc), dinyatakan sebagai berikut: Rumus (1) [715].

$$I = n_p I_{ph} - n_p I_0 \left[ e^{\frac{q(V + IR_s)}{nkT}} - 1 \right] \tag{0.1}$$

Dengan, I adalah arus keluaran modul fotovoltaik; Np adalah jumlah unit paralel; Ns adalah jumlah baterai yang dihubungkan secara seri; K adalah konstanta Boltzmann; q adalah kecepatan pergerakan elektron; T adalah suhu permukaan dari modul fotovoltaik; Deviasi konstan dari unit pn. Irs adalah *refluks* jenuh, satuan. Rumus berikut (2) adalah pengaruh suhu terhadap arus yang dihasilkan [7-8].

$$I_{rs} = I_{rr} \left[ \frac{T}{T_r} \right]^3 e^{\left( \frac{qE_G}{kA} \left[ \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right] \right)} \tag{0.2}$$

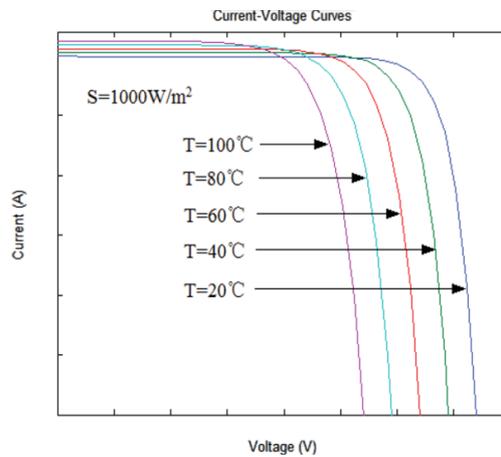
Dimana q = 1,6022 × 10<sup>-19</sup> C adalah konstanta pengisian elektron; Tr adalah suhu baterai referensi; Irr adalah *refluks* jenuh dalam kondisi Tr. K = 1,3807 × 10<sup>-23</sup> JK<sup>-1</sup> adalah konstanta Boltzmann, dan EG adalah satuan energi yang digunakan dalam lebar interupsi semikonduktor. Seperti yang ditunjukkan pada rumus (3), arus foto (Iph) bergantung pada radiasi matahari dan suhu baterai.

$$I_{ph} = [I_{sc} + k_i(T - T_r)] \frac{S}{1000} \tag{0.3}$$

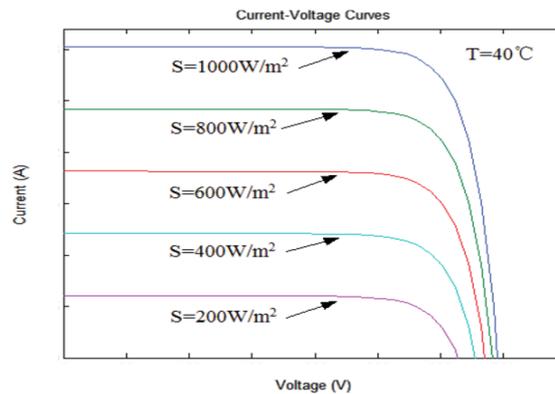
Dengan, Isc adalah arus hubung singkat fotovoltaik. Ki adalah koefisien temperatur arus hubung singkat; S adalah tingkat radiasi matahari [15]. Hal ini dapat dilihat dari persamaan (3) bahwa ketika nilai variabel T dan S berubah maka karakteristik modul PV akan berubah. Daya keluaran modul PV adalah hasil kali dari tegangan terminal V dan arus keluaran Io; seperti pada persamaan 4 [7-8].

$$P = n_p V I_{ph} - n_p V I_0 \left[ e^{\frac{q(V + IR_s)}{nkT}} - 1 \right] \tag{0.4}$$

Perubahan pada kedua variabel ini akan mengakibatkan perubahan pada kurva daya-ke-tegangan (P-V) dan kurva arus-ke-tegangan (I-V). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4, selain radiasi matahari, faktor lain yang mempengaruhi karakteristik modul fotovoltaik adalah suhu lingkungan.



Gambar. 3. Kurva arus terhadap tegangan pada PV akibat temperatur [7-8]



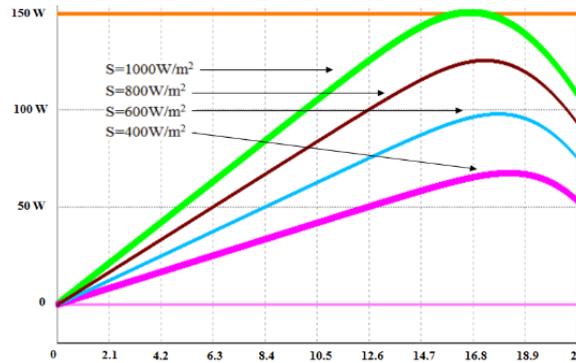
Gambar. 4. Kurva arus terhadap tegangan pada PV akibat perubahan radiasi [7-8]

Spesifikasi kelistrikan modul fotovoltaik yang digunakan dalam penelitian ini telah disediakan oleh pabrikan. Spesifikasi tersebut berada pada kondisi ideal, yaitu standar radiasi matahari (1000 W / m<sup>2</sup>) dan suhu lingkungan 25<sup>0</sup>C, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

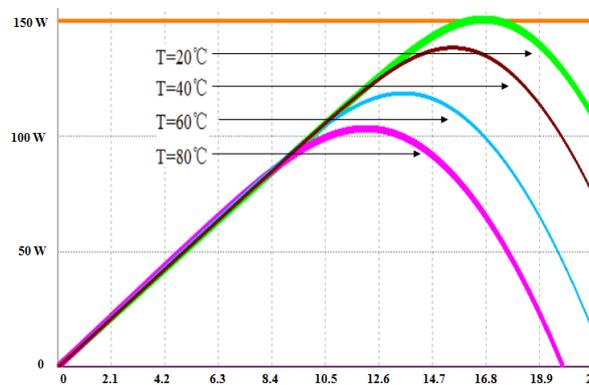
Tabel 1. Karakteristik Modul PV

No.	Spesifikasi	
1	Kode produk	150021209
2	Daya maksimum (P <sub>max</sub> )	150 W
3	Arus Hubung singkat (I <sub>sc</sub> )	9.17 A
4	Tegangan rangkaian terbuka (V <sub>oc</sub> )	21.6 V
5	Arus saat P <sub>max</sub> (I <sub>mp</sub> )	8.34 A
6	Tegangan saat P <sub>max</sub> (V <sub>mp</sub> )	18 V
7	Koefisien suhu pada I <sub>sc</sub>	(0.064±0.014) %/ °C
8	Koefisien suhu pada P <sub>max</sub>	-(0.4±0.04) %/ °C
9	Koefisien suhu pada V <sub>oc</sub>	-(80±10) mV/°C
10	Tegangan sistem Maksimum	1000 V DC
11	Tegangan kerja	-40 °C to 86 °C
12	NOCT (Air 20°C; Sun 0.8kW/m <sup>2</sup> wind 1m/s)	48±2 °C
13	Toleransi daya	± 5 %

Gambar 5 dan 6 menunjukkan kurva daya dari modul PV yang digunakan (Kurva P-V) untuk kondisi cuaca (radiasi dan suhu) yang berbeda berdasarkan perkiraan dari perhitungan sebelumnya.



Gambar. 5. Power Versus Voltage Curves of PV Influenced by Solar Irradiance



Gambar. 6. Power Versus Voltage Curves of PV Influenced by Temperature

Pada saat yang sama, terlihat bahwa perubahan radiasi matahari dan suhu lingkungan akan mempengaruhi daya keluaran modul PV. Ketika suhu permukaan fotovoltaik adalah 25 °C, ketika radiasi matahari berubah tajam, daya keluaran modul fotovoltaik akan berubah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Ketika radiasi matahari berada di antara 20 °C dan 80 °C, daya keluaran PV akan berubah. 1000 W / m<sup>2</sup>, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Dapat disimpulkan dari Gambar 5 dan 6 bahwa daya keluaran modul fotovoltaik dipengaruhi oleh radiasi matahari dan suhu lingkungan. Oleh karena itu, MPP akan berubah seiring dengan perubahan kondisi atmosfer.

## 2.2. DC-DC Converter

Konverter DC-DC diperlukan untuk mengontrol tegangan output modul PV untuk mencapai titik daya maksimum. Beberapa modul konverter DC-DC akan dijelaskan dalam studi ini.

### 2.2.1 Konverter Buck

*Buck converter* bekerja dengan cara mengubah tegangan *input* menjadi tegangan *output* yang lebih rendah atau sama dengan tegangan *input*. Persamaan untuk rasio konversinya adalah  $V_o = D \times V_i$ . Tegangan output bervariasi sesuai dengan siklus kerja  $D$  dari sakelar kontrol [12].

### 2.2.2 Konverter Boost

Konverter *boost* bekerja dengan mengubah tegangan *input* ke tegangan *output* yang lebih tinggi. *Boost converter* biasanya digunakan pada modul baterai dan sirkuit elektronik yang membutuhkan tegangan operasi lebih tinggi dari tegangan catu daya, seperti ponsel dan komputer *notebook*. Proses perpindahan energi pada *boost converter* dilakukan dengan kombinasi empat komponen yaitu saklar daya, induktor, kapasitor dan dioda. Proses transfer energi akan dibuat oleh siklus *switching* MOSFET [13]. Dengan kata lain, tegangan *output* rata-rata dikontrol dengan mengubah durasi *on-off* MOSFET. Pada frekuensi *switching* tetap, durasi mode kontrol *switching* juga disebut modulasi lebar pulsa (PWM). Rumus tegangan keluaran dari konverter boost dituliskan sebagai:

$$V_o = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (0.5)$$

Dimana  $V_o$  adalah tegangan *output*,  $V_{in}$  adalah tegangan input dan  $D$  adalah *duty cycle* [14].

### 2.2.3 Konverter Buck-Boost

Konverter *buck-boost* bekerja dengan mengubah tegangan *input* DC menjadi tegangan *output* DC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Konverter *buck-boost* merupakan kombinasi dari dua topologi konverter yang berbeda, yaitu konverter *buck* dan konverter *boost*. Namun, konverter *buck-boost* akan membalikkan tegangan *output* [15]. Konverter *buck-boost* terdiri dari MOSFET daya sebagai elemen *switching*, dioda, induktor (L), kapasitor filter (C), dan resistor sebagai beban (RL). Rumus transfer tegangan keluaran dari konverter *buck-boost* ditulis sebagai:

$$V_o = -\frac{V_{in}D}{(1-D)} \quad (0.6)$$

### 2.2.4 Konverter Cuk

Konverter *Cuk* adalah konverter DC-DC pengembangan dari konverter *Buck-Boost*. Konverter ini dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar maupun lebih kecil dari tegangan masukan dengan polaritas terbalik serta mempunyai arus masukan dan keluaran yang kontinu. Konverter *cuk* digunakan untuk menaikkan tegangan PV dan menyalurkan daya maksimum [16].

### 2.2.5 Konverter Sepic

Konverter induktansi primer ujung tunggal (*SEPIC*) adalah jenis konverter DC-DC yang menghasilkan tegangan *output*-nya lebih besar dari, kurang dari, atau sama dengan *input*-nya. *Output* dari *SEPIC* dikendalikan oleh siklus kerja saklar kontrol. *SEPIC* pada dasarnya adalah gabungan konverter *boost* dan konverter *buck-boost inverting*, oleh karena itu ia mirip dengan konverter *buck-boost* tradisional, namun memiliki kelebihan dengan keluaran yang tidak terbalik (keluarannya memiliki polaritas tegangan yang sama dengan masukan), menggunakan kapasitor seri untuk memasangkan energi dari *input* ke *output* (dan dengan demikian dapat merespons *output* hubung singkat dengan lebih baik), dan mampu melakukan *shutdown* yang sebenarnya.

## 3. METODE

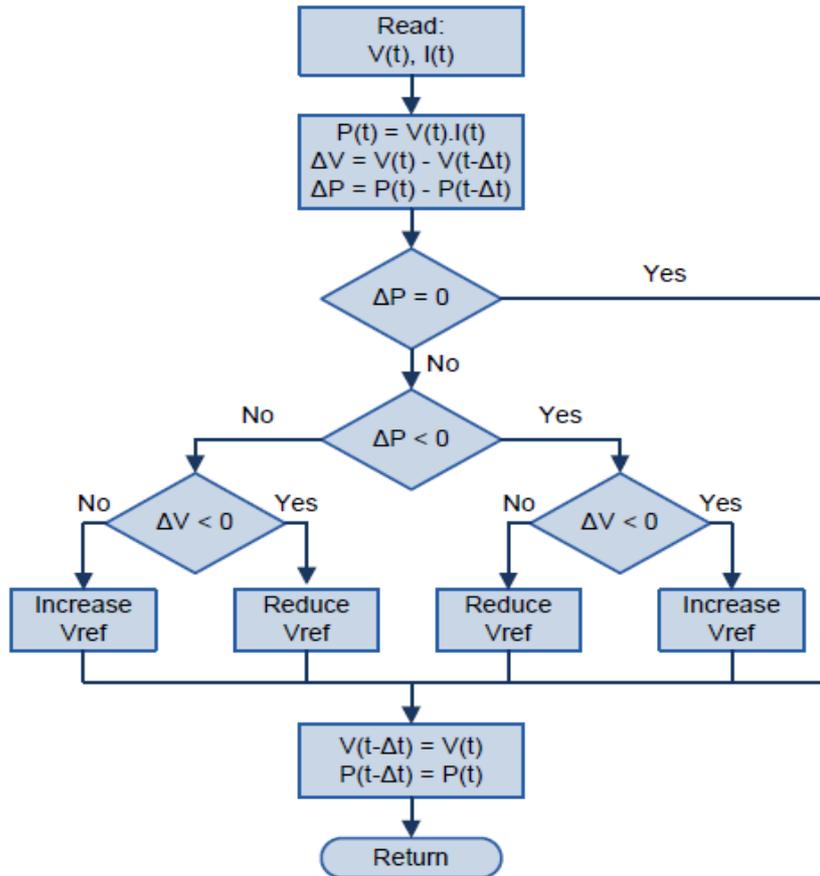
Teknik MPPT utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma *Perturbation and Observation* (P&O). Algoritma *Perturb and Observe* (P&O) akan mengontrol *duty cycle* dari konverter DC-DC sesuai dengan perubahan suhu PV dan radiasi matahari agar sesuai dengan titik daya maksimum. Selain itu, pada bagian ini juga akan dijelaskan daya keluaran PV tanpa MPPT, PV dengan *duty cycle* tetap dan PV dengan tegangan rangkaian terbuka. PV tanpa MPPT adalah sistem PV tanpa konverter DC-DC. Oleh karena itu, tegangan keluaran PV akan menyebabkan tegangan keluaran PV berfluktuasi sesuai dengan suhu modul PV. PV siklus tetap berarti bahwa konverter DC-DC dapat dikontrol tanpa umpan balik tegangan. Pada MPP pertama, impedansi beban hanya akan diatur satu kali, meskipun radiasi matahari dan temperatur komponen PV akan berubah, tidak perlu dilakukan penyesuaian lagi.

Metode tegangan rangkaian terbuka (OCV) didasarkan pada pengamatan dan penghitungan VMPP, yang biasanya sebanding dengan tegangan rangkaian terbuka (VOC) modul PV. VMPP mengatakan bahwa untuk modul PV polikristalin dengan kisaran suhu 0 hingga 60 °C dan rentang radiasi matahari 200 hingga 1000 W / m<sup>2</sup>, tegangan MPP saat ini biasanya menyumbang sekitar 70% hingga 80% VOC [11]. Oleh karena itu, diperlukan skema kendali loop tertutup untuk mengatur tegangan modul PV sesuai dengan arus VMPP. Metode OCV membutuhkan pengukuran VOC. Hal ini disebabkan oleh perubahan kondisi cuaca (radiasi dan suhu matahari), meskipun saat intensitas radiasi matahari berubah, VMPP berubah sangat sedikit, dan saat suhu fotovoltaik berubah, VMPP berubah dengan tajam.

Untuk menerapkan metode ini, saklar tetap harus dihubungkan secara seri dengan modul PV untuk menciptakan kondisi sirkuit terbuka untuk setiap perubahan cuaca, yang juga akan menyebabkan osilasi besar pada daya keluaran modul PV. Namun, karena VOC bervariasi dengan

radiasi dan suhu matahari, dan hubungan antara VMPP dan VOC dipengaruhi oleh bayangan objek yang menutupi modul PV, sebenarnya sulit untuk mendapatkan nilai VMPP yang sebenarnya [11].

Metode P&O tidak memerlukan pengukuran tegangan rangkaian terbuka atau arus hubung singkat. Prinsip kerja metode P&O adalah menaikkan atau menurunkan tegangan keluaran modul PV secara berkala, dan membandingkan daya siklus saat ini dengan daya siklus sebelumnya. Jika tegangan berubah dan daya meningkat, MPPT akan terus bekerja ke arah itu. Jika tidak, titik operasi akan berubah ke arah yang berlawanan. Setelah arah modifikasi diketahui, arus akan berubah dengan nilai yang hampir konstan. Sekalipun osilasi terjadi dalam kondisi-kondisi mapan, nilai ini adalah titik yang harus ditetapkan, dan osilasi dapat dengan cepat merespon kesetimbangan. Proses ini akan berlanjut hingga MPP tercapai.

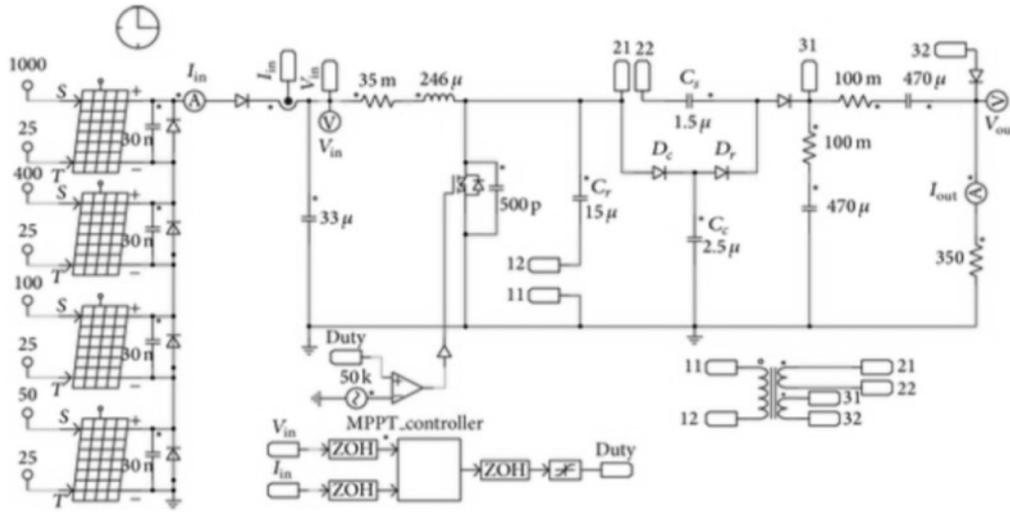


Gambar. 7. Flowchart of P&O Algorithm

Namun pada proses ini sistem akan berosilasi disekitar MPP, tentunya proses ini akan menyebabkan kehilangan energi. Osilasi ini dapat diminimalkan dengan mengurangi jumlah kebisingan, tetapi akan memperlambat kecepatan implementasi MPP. Gambar 7 menunjukkan diagram alir dari algoritma tersebut. Oleh karena itu, sistem MPP akan berubah sesuai dengan perubahan kondisi atmosfer. Penggunaan metode (P&O) dimulai dari *decision* pertama yang akan melihat keadaan daya yang dihasilkan untuk berlanjut pada proses program berikutnya. Pemodelan rangkaian untuk PV *standalone* dengan MPPT dalam penelitian ini terdapat dalam Gambar 8 berikut.

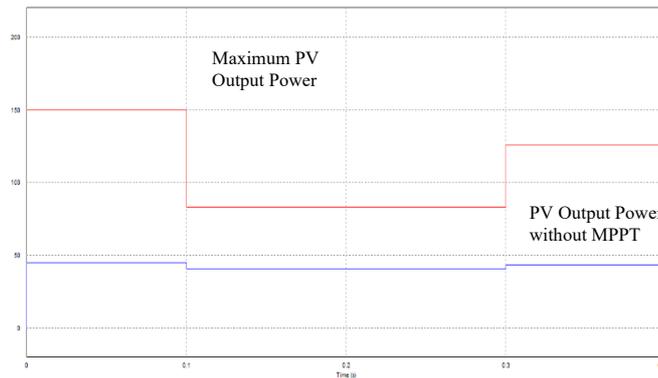
**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gambar 8 menunjukkan simulasi sistem fotovoltaik yang berdiri sendiri menggunakan perangkat lunak PSIM. Model terdiri dari modul fotovoltaik, konverter DC-DC, metode kontrol (P&O) dan beban (resistor).



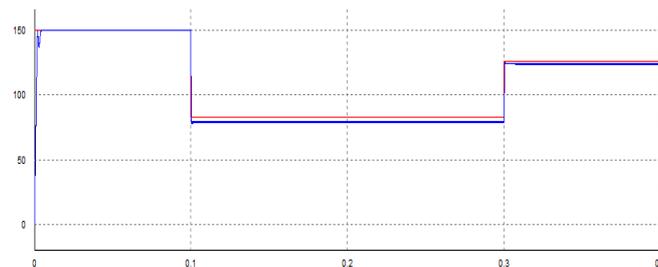
Gambar. 8. Pemodelan PSim Untuk PV Standalone dengan MPPT

Daya keluaran fotovoltaik tergantung pada suhu lingkungan dan radiasi matahari. Suhu lingkungan tidak berubah secara tajam, dan pengaruhnya sangat lambat, sehingga metode P&O tidak sulit untuk melacak titik daya maksimum [8]. Namun, perubahan kondisi cuaca dapat terjadi dengan cepat, dan awan akan secara tiba-tiba menghalangi sinar matahari, yang akan menyebabkan penurunan tajam radiasi matahari yang diterima oleh PV, sehingga sistem MPPT harus mampu menahan perubahan mendadak tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini akan mempelajari performansi metode P&O dalam perubahan mendadak radiasi matahari.

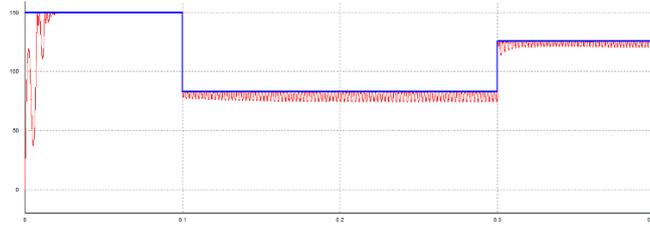


Gambar. 9. Daya Maksimum PV Standalone dengan dan Tanpa MPPT

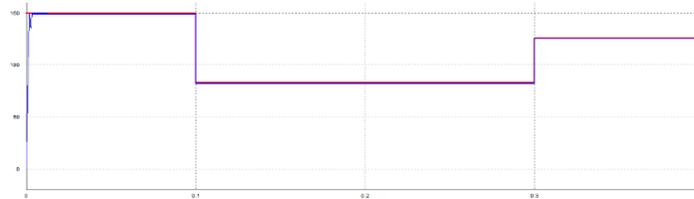
Gambar 9 menunjukkan daya keluaran PV ketika radiasi matahari berubah secara tiba-tiba. Nilai radiasi matahari berubah dari 1000 W / m<sup>2</sup> pada 0-0.1s, 500 W / m<sup>2</sup> pada 0.1-0.3s, dan 800 W / m<sup>2</sup> pada 0.3s. Menurut parameter masukan modul PV pada simulasi PSIM, perubahan radiasi matahari akan mengubah daya keluaran maksimum dari 150 W menjadi 83,4 W, kemudian menjadi 125,8 W. Jika tidak ada teknologi MPPT maka daya keluaran PV tidak akan maksimal. Nilainya ditunjukkan pada Gambar 4. Daya yang dihasilkan tanpa MPPT adalah 44.9W, kemudian 40.7W, kemudian 43.4W, atau hanya sekitar 33.3% dari daya keluaran PV maksimum. Sebagai perbandingan, MPPT dengan beberapa konverter DC-DC akan diperkenalkan.



Gambar. 10. Daya keluaran dengan konverter Buck



Gambar. 11. Daya keluaran dengan konverter Boost



Gambar. 12. Daya keluaran dengan konverter Buck-Boost

Tabel 2. Karakteristik Daya Keluaran PV

P-mpp	Buck	Boost	Buck-Boost	Cuk	Sepic
S= 1000W/m <sup>2</sup> & Pmax=150W					
Mean (W)	150	150	150	148.3	150
Difference (%)	0	0	0	1.13	0
Ripple (%)	0	0	0	5.82	6.37
S= 500W/m <sup>2</sup> & Pmax=83.4W					
Mean (W)	79.4	79.3	82.4	78.2	81
Difference (%)	4.79	4.91	1.19	6.23	2.88
Ripple (%)	0	11.12	0	10.14	10.8
S= 800W/m <sup>2</sup> & Pmax=125.8W					
Mean (W)	124.3	124	125.8	124.8	125.1
Difference (%)	1.19	1.43	0	0.79	0.55
Ripple (%)	0	3.92	0	7.52	7.67

Gambar 10-12 menunjukkan daya keluaran PV maksimum menggunakan metode P&O dan berbagai jenis konverter DC-DC. Berdasarkan gambar 10-12 sebelumnya, berdasarkan penggunaan konverter *buck*, *boost* dan *buck-boost*, dapat diperoleh beberapa karakteristik daya keluaran PV, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan Gambar 10-12 dan Tabel 2, *buck converter* memiliki kurva yang mulus. Pada kondisi radiasi matahari terbaik yaitu 1000 w / m<sup>2</sup> PV dapat menghasilkan daya keluaran yang maksimal. Namun ketika radiasi matahari turun tajam menjadi 500 W / m<sup>2</sup>, daya yang dibangkitkan hanya 79,4 W, yang berbeda 4,79% dari daya maksimum di bawah radiasi matahari 500W / m<sup>2</sup>. Selain itu, ketika radiasi matahari meningkat menjadi 800W / m<sup>2</sup>, daya yang dapat dihasilkan oleh *buck converter* mendekati daya PV optimal, yaitu 124,3W, yang berbeda 1,19% dari daya PV maksimum.

Ketika kondisinya sudah optimal, *Boost Converter* juga akan memiliki grafik yang mulus. Tenaga yang dihasilkan juga terbesar, yaitu 150W. Namun, ketika radiasi matahari turun tajam menjadi 500 W / m<sup>2</sup>, kurva daya PV tidak lagi mulus, tetapi berfluktuasi sebesar 11,12%. Dibandingkan dengan daya maksimum (4,91%), daya rata-rata yang diperoleh juga sangat berbeda. Ketika radiasi matahari mencapai 800 W / m<sup>2</sup> (yaitu 3,92%), riak yang dihasilkan juga akan terus berlanjut. Rata-rata daya keluaran yang dihasilkan sebesar 124W atau selisih sekitar 1,43% dari daya optimal.

Konverter *buck-boost* juga menghasilkan peta daya yang halus mirip dengan konverter daya. Di bawah kondisi radiasi matahari yang bervariasi, daya yang dihasilkan juga mendekati atau bahkan hampir sama dengan daya PV maksimum. Jika radiasi matahari 1000 W / m<sup>2</sup> atau selisih dengan daya PV maksimum 0%, daya yang dihasilkan adalah 150W; jika radiasi matahari 500 W / m<sup>2</sup> atau selisih 1,19% dari daya PV maksimum, yang dihasilkan daya 82,4W. Waktu dan 125,8W (jika radiasi matahari 800 W / m<sup>2</sup> atau 0% dari arus daya PV maksimum).

Berdasarkan analisis tabel di atas dan gambar di atas maka dapat disimpulkan bahwa konverter DC-DC terbaik berdasarkan riak daya minimum dan daya PV maksimum yang dihasilkan oleh berbagai kondisi radiasi matahari adalah konverter *buck / boost*.

Riak yang dihasilkan adalah 0%, dan perbedaan antara daya keluaran dan daya PV maksimum adalah 1,19%. Konverter kedua yang dapat direkomendasikan untuk MPPT adalah konverter mata uang. Konverter memiliki kurva daya yang halus, dan daya keluaran yang dihasilkan hampir sama dengan daya PV maksimum.

## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini membandingkan metode P&O dengan menggunakan beberapa konverter DC-DC untuk mendapatkan daya maksimum modul PV. Konverter DC-DC merupakan modul utama yang beroperasi sesuai dengan sinyal sistem kendali, sehingga MPP dapat direalisasikan dari modul PV. Modul PV mandiri sederhana dengan nilai default pabrik telah disimulasikan. Berdasarkan hasil simulasi, konverter *buck-boost* adalah konversi DC-DC terbaik dalam hal menemukan titik daya maksimum, kinerja transien yang baik, daya riak kecil (bahkan mendekati persentase nol) dan implementasi perangkat yang disederhanakan. Akhirnya, diharapkan hasil penelitian ini akan membantu memilih konverter DC-DC saat mengimplementasikan MPPT dalam sistem fotovoltaik aktual di masa mendatang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.E. Ahmad and S. Mekhilef, "Design and Implementation of a Multi Level Three-Phase Inverter with Less Switches and Low Output Voltage Distortion," *Journal of Power Electronics*, vol. 9, pp. 594-604, 2009.
- [2] Nugraha, Anggara Trisna, Alwy Muhammad Ravi, and Dadang Priyambodo. "Optimization of Targeting Rocket Launchers with Wheeled Robots." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics 3.1* (2021): 44-49.
- [3] E. I and O. Rivera, "Maximum Power Point Tracking using the Optimal Duty Ratio for DC-DC Converters and Load Matching in Photovoltaic Applications," *IEEE*, pp. 987-991, 2008
- [4] Priyambodo, Dadang, and Anggara Trisna Nugraha. "Design and Build A Photovoltaic and Vertical Savonius Turbine Power Plant as an Alternative Power Supply to Help Save Energy in Skyscrapers." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics 3.1* (2021): 57-63.
- [5] Hairul Nissah Zainudin Saad and Mekhilef, "Comparison Study of Maximum Power Point Tracker Techniques for PV Systems", *Proceedings of the 14th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON'10)*, December 19-21, 2010, Paper ID 278
- [6] Jiyong Li and Honghua. Wang, "A Novel Stand-alone PV Generation System Based on Variable Step Size INC MPPT and SVPWM Control", *IPEMC 978-1-4244-3557-9-2009*
- [7] Priyambodo, Dadang, and Anggara Trisna Nugraha. "Design and Build A Photovoltaic and Vertical Savonius Turbine Power Plant as an Alternative Power Supply to Help Save Energy in Skyscrapers." *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics 3.1* (2021): 57-63.
- [8] Mei Shan Ngan and Chee Wei Tan, "A Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-alone Photovoltaic Systems", *IEEE Applied power electronics colloquium (IAPEC)*, 2011
- [9] Nugraha, Anggara Trisna, and Rahman Arifuddin. "O<sub>2</sub> Gas Generating Prototype in Public Transportation." *JEEMECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science) 3.2* (2020): 187-192.
- [10] Huiying Zheng, Shuhui Li, Senior Member, IEEE, Ke Bao, and Dong Zhang, "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Control Strategies for Solar PV Systems", *IEEE 978-1-4673-1935-5/12* ©2012
- [11] Nugraha, Anggara Trisna. "TRACKING QUADCOPTER MENGGUNAKAN COMMAND GENERATOR TRACKER BERBASIS LOS SAAT ADANYA DISTURBANCE PADA LINTASAN PERSEGI." *Prosiding SENIATI* (2018): 7-13.
- [12] B. M Hasaneen, and Adel A. Elbaset Mohammed, "Design and simulation of DC/DC boost converter," *Power System Conf. Middle-East*, pp. 335-340, 2008.
- [13] Ned Mohan, Tore M. Undeland, and Williams P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3rd ed., John Wiley & Sons: USA, 2003, pp. 161

- [14] W. Hart, Danil. (1997). Introduction to Power Electronics. Valparaiso University, Indiana: Prenice-Hall International, Inc.
- [15] Daniel W. Hart, "Power Electronics", Mc Graw Hill, 2010
- [16] Mohan, Undeland, Robbins. Power electronics converters, applications, and design. 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd. 1995