

## MPPT BERDASARKAN ALGORITMA P&O DAN IC PADA INTERLEAVED-FLYBACK 250W

Y. Munandar Kolewora<sup>1</sup>, Eka Firmansyah<sup>2</sup>, Suharyanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi  
Universitas Gadjah Mada

Email : munandar.sie14@mail.ugm.ac.id<sup>1</sup>, firmansyah@ugm.ac.id<sup>2</sup>,  
suharyanto@ugm.ac.id<sup>3</sup>.

### ABSTRAK

*Interleaved-flyback* adalah topologi yang lazim digunakan pada inverter mikro dalam aplikasi panel surya. Lazimnya, dalam aplikasi tersebut, diperlukan sebuah algoritma *maximum power point tracking* (MPPT) untuk meningkatkan perolehan energinya. Dalam tulisan ini, dua algoritma MPPT; *perturb & observe* (P&O) serta *incremental conduction* (IC) akan diterapkan pada sebuah *interleaved-flyback*. Dianalisis kemampuan kedua algoritma tersebut untuk menghadapi perubahan intensitas cahaya matahari dalam rentang 600-1000 W/m<sup>2</sup>. Dapat disimpulkan di akhir tulisan bahwa algoritma IC menghasilkan energi yang lebih sedikit dari P&O dengan selisih hanya 0.2%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua algoritma tersebut relatif sama dan penerapannya tergantung pada ketersediaan prosesor yang digunakan serta alasan teknis lain.

Kata Kunci: MPPT, P&O, IC, *Interleaved-Flyback*, Panel Surya.

### ABSTRACT

*Interleaved-flyback* is a common topology used in micro-inverters in photovoltaic applications. Typically, in the application, a maximum power point tracking algorithm (MPPT) is required to increase its energy gain. In this paper, two MPPT; algorithms *perturb & observe* (P&O) and *incremental conduction* (IC) will be applied to an *interleaved-flyback*. Analyzed the ability of both algorithms to face changes in the intensity of sunlight in the range 600-1000 W/m<sup>2</sup>. It can be concluded at the end of the paper that the IC algorithm produces less energy than P & O by a margin of only 0.2%. So it can be concluded that both algorithms are relatively similar and its application depends on the availability of processor used and other technical reasons.

Keywords: MPPT, P&O, IC, *Interleaved-Flyback*, Photovoltaic.

## PENDAHULUAN

Energi yang dihasilkan oleh panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi klimatologi seperti iradiasi matahari dan suhu lingkungan sehingga karakteristik arus dan tegangan berubah-ubah (Saidi, 2016). Tegangan keluaran yang rendah dan arus keluaran yang tinggi merupakan ciri dari sumber energi panel surya. Karena karakteristik yang unik dari panel surya tersebut, panel surya tidak dihubungkan secara langsung ke beban tetapi menggunakan sebuah konverter dc/dc untuk menghubungkan antara panel surya dan beban (Kota and Ieee, 2016). Panel surya mempunyai titik daya maksimum (MPP) yang terjadi ketika arus dan tegangan berada pada nilai maksimumnya. Namun, nilai MPP tersebut sangat dipengaruhi oleh iradiasi matahari dan suhu permukaan sel surya (Banu, Beniuga, and Istrate, 2013). Oleh karena itu, telah dikembangkan suatu metode pelacakan yang dapat menyeimbangkan impedansi panel surya dan impedansi beban (*impedance matching*), sehingga selama nilai tahanan beban sama dengan tahanan dalam pada panel surya, maka daya yang dihasilkan panel surya akan selalu berada pada titik maksimal atau berada dalam kondisi MPP (Hohm and Ropp, 2000). Metode pelacakan tersebut biasa disebut *maximum power point tracking* (MPPT).

Dalam implementasinya, MPPT terbagi menjadi dua yaitu algoritma dan perangkat kerasnya. Lazimnya, yang menjalankan fungsi MPPT adalah sebuah konverter dc/dc yang terletak di antara panel surya dan beban. Mengendalikan cara kerja konverter tersebut melalui sebuah algoritma tertentu yang memanipulasi gelombang PWM konverter merupakan cara yang umum dilakukan (Guruvulunaidu et al, 2016).

Konverter *interleaved-flyback* sangat populer pada *microinverter* karena mampu bekerja pada rentang tegangan yang lebar dan dapat menurunkan riak arus serta mampu bekerja pada frekuensi yang tinggi, sehingga dapat memperkecil ukuran transformator.

Algoritma yang populer dan yang banyak digunakan pada pelacakan sistem panel surya adalah *constant voltage, perturb and observe* (Mamatha, 2015),

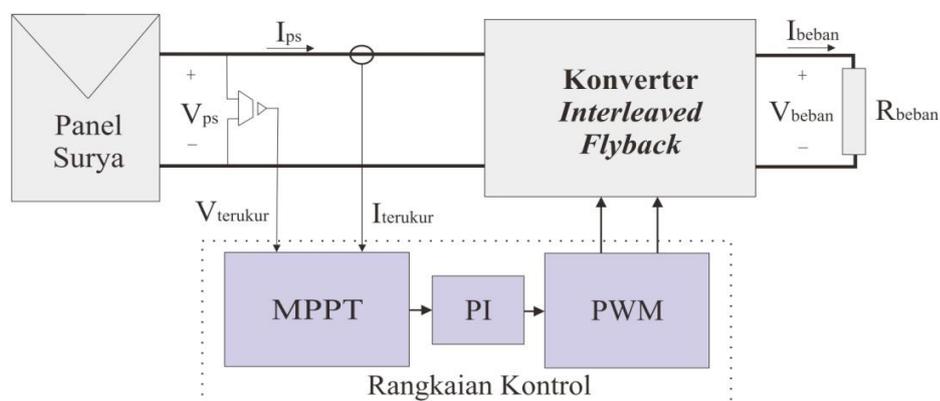
*incremental conductance* (Beopjun, 2013), *open circuit voltage*, *short circuit current* dan *fuzzy logic*. Pada metode-metode tersebut membutuhkan pengukuran tegangan, arus atau keduanya dari panel surya.

Tulisan ini mengevaluasi tentang penerapan metode P&O dan IC pada konverter *interleaved-flyback*. Di akhir penelitian, diharapkan dapat diperoleh simpulan tentang algoritma mana yang lebih baik untuk diterapkan dalam aplikasi nyata.

## METODE PENELITIAN

Pada Gambar 1, memperlihatkan sistem panel surya. Dimana, terdapat tiga bagian utama yaitu :

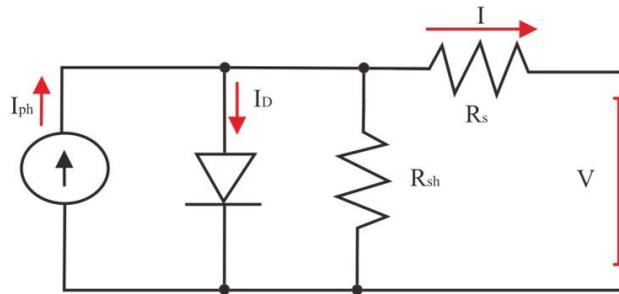
1. Panel surya, yang berhubungan langsung dengan cahaya matahari dan mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik.
2. Konverter *interleaved-flyback*, berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan keluaran dari panel surya agar sesuai dengan tegangan pada beban.
3. Rangkaian kontrol, berupa MPPT, PI dan PWM. Dimana, MPPT merupakan metode pelacakan yang mampu menyerap daya maksimum pada panel surya, PI digunakan untuk mengkoreksi nilai tegangan *error* sedangkan PWM merupakan pembangkit gelombang untuk memvariasikan *duty cycle*.



Gambar 1. Sistem panel surya

## 1. Panel Surya

Sebuah model persamaan rangkaian sederhana untuk sebuah sel surya terdiri dari sebuah dioda yang diparalelkan dengan sebuah sumber arus ideal. Model rangkaian dari sel surya dapat disusun seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian persamaan sel surya

Persamaan matematik dari rangkaian ekuivalen sel surya pada Gambar 2 dapat dilihat pada persamaan (1).

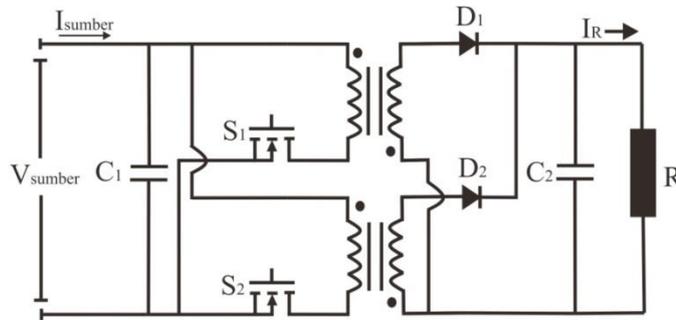
$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{q(V + IR_s)}{AkT}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Dimana  $I$  dan  $V$  merupakan arus dan tegangan keluaran dari sel surya,  $I_{ph}$  adalah arus *photo*,  $I_0$  adalah arus *reverse saturation* dioda,  $q$  adalah muatan elektron yaitu sebesar  $1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ ,  $A$  adalah faktor dioda (biasanya antara 1 dan 2),  $k$  adalah konstanta *Boltzmann* yaitu sebesar  $1.381 \times 10^{-23} \text{J/K}$ ,  $T$  adalah suhu permukaan sel surya,  $R_s$  adalah tahanan seri dan  $R_{sh}$  adalah tahanan *shunt*.

## 2. Konverter *Interleaved-Flyback*

Gambar 3 menunjukkan rangkaian utama dari konverter *interleaved-flyback* yang terdiri dari dua buah konverter *flyback* yang saling bergandengan, dimana setiap *phase* digeser  $180^\circ$  pada setiap penyaklaran untuk mencapai persamaan *double switching* frekuensi yang dapat menurunkan riak arus (Sefa and Özdemir 2009; Xiong and Shen 2016). Kapasitor  $C_1$  merupakan kapasitor *bulk* dan kapasitor  $C_2$  merupakan penyimpan energi sementara sebelum ditransfer ke beban, saklar primer  $S_1$

dan  $S_2$  adalah saklar utama yang menjalankan fungsi PWM, dioda  $D_1$  dan  $D_2$  adalah dioda sekunder yang digunakan untuk menghindari rugi dioda *reverse* dan  $R$  merupakan tahanan beban pada konverter *interleaved flyback*.



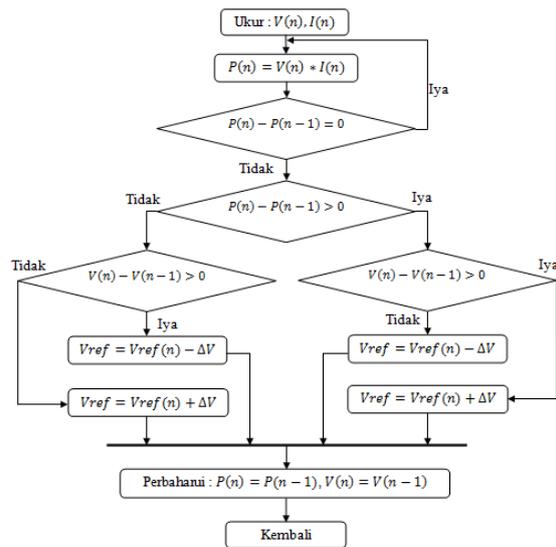
Gambar 3. Rangkaian *interleaved flyback*

### 3. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

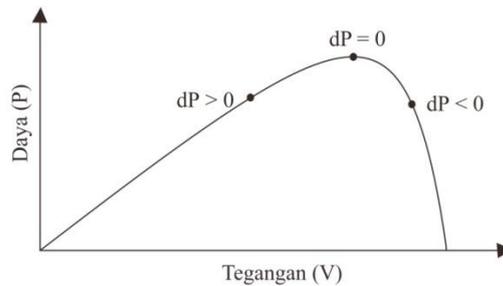
MPPT adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mencapai titik daya maksimum (MPP) yang dapat diperoleh dari panel surya. Panel surya mempunyai hubungan yang cukup rumit antara iradiasi matahari, suhu lingkungan dan total resistansi yang menghasilkan sebuah karakteristik keluaran arus dan tegangan yang *non-linear* (Rahman et al. 2016). Sistem MPPT melakukan sampling data tegangan dan arus dari sel surya dan menggunakan sebuah resistansi untuk memperoleh keluaran daya maksimum untuk setiap kondisi lingkungan (Bouselham 2009).

#### a. *Perturb and observe* (P&O)

metode P&O memulai sistem dengan pemilihan titik kerja dimana *duty ratio* dari konverter dc/dc akan berubah terhadap waktu. Dengan melakukan pengukuran tegangan dan daya yang melewati panel surya, lalu mengamati apakah terjadi perubahan tegangan dan atau daya sesudah *duty ratio* diubah. Jika daya meningkat dengan tegangan yang meningkat pula maka *duty ratio* akan dirubah dengan arah yang sama, jika tidak demikian maka *duty ratio* akan dirubah pada arah yang berlawanan (Rambo et al. 2014). Adapun algoritma P&O dapat dilihat pada Gambar 4 dan kurva titik operasi daya-tegangan (P-V) pada metode P&O dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Algoritma P&O



Gambar. 5 Kurva daya-tegangan P&O

b. Incremental conductance (IC)

Pada algoritma IC konvensional berangkat dari persamaan :

$$P = V \times I \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (3)$$

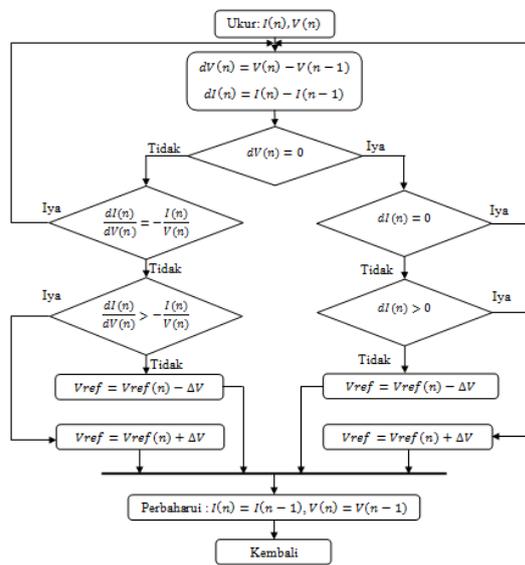
Pada titik daya maksimum, persamaan (3) di atas akan sama dengan nol, yang menunjukkan puncak titik daya maksimum sehingga persamaannya menjadi :

$$\frac{dP}{dV} |_{MPP} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad (4)$$

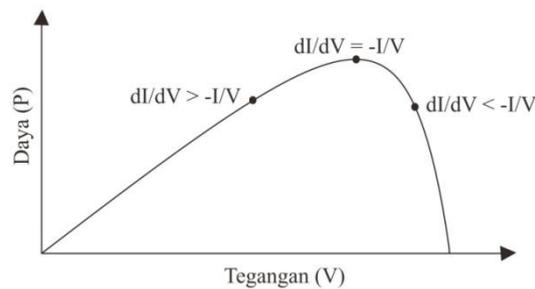
Untuk beberapa level iradiasi pada titik daya maksimum persamannya adalah :

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (5)$$

Pada persamaan (5) diatas pada bagian kiri diketahui sebagai *incremental conductance* dan pada bagian kanan merupakan negatif dari *instant conductance*. Dengan kata lain bahwa, jika jumlah dari kedua konduktans tersebut adalah nol, maka kondisi tersebut merupakan kondisi titik daya maksimum (MPP) (Huynh and Dunnigan 2016) . Pada Gambar 7 kurva hubungan titik operasi daya-tegangan (P-V) pada metode IC dan Gambar 6 menunjukkan algoritma IC.



Gambar 6. Algoritma IC



Gambar 7. Kurva daya-tegangan IC

Dari Gambar 7 terlihat tiga kondisi titik operasi yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}, \text{ Pada MPP} \quad (6)$$

$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V}, \text{ Disisi kanan MPP} \quad (7)$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V}, \text{ Disisi kiri MPP} \quad (8)$$

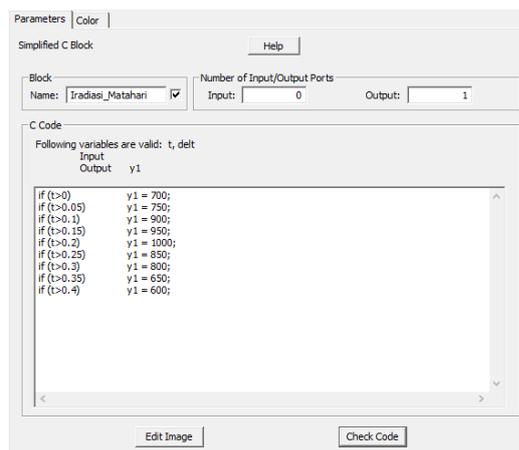
## PERANCANGAN DAN PENGUJIAN

Bagian ini membahas perancangan keseluruhan sistem panel surya yang digunakan pada penelitian. Dimana, pada perancangan digunakan simulator PSIM.

### 1. Perancangan Iradiasi Matahari

Untuk melakukan pengujian sistem panel surya pada perubahan iradiasi matahari, dibuat pemodelan perubahan iradiasi matahari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Rentang iradiasi yang akan diteliti adalah antara 600 sampai dengan 1000 W/m<sup>2</sup>.

Angka ini dipilih karena menunjukkan nilai iradiasi matahari pada saat pukul 09.00-12.00 atau 12.00-15.00 (Hasyim Asy'ari<sup>1</sup>, Jatmiko<sup>2</sup> 2013). Dari setiap perubahan iradiasi matahari yang terjadi, telah ditentukan waktu perubahannya yaitu selama 0,05s. Waktu perubahan ini dipilih karena selama waktu tersebut sistem sudah berada pada kondisi *steady state*.



Gambar 8. Model perubahan iradiasi matahari

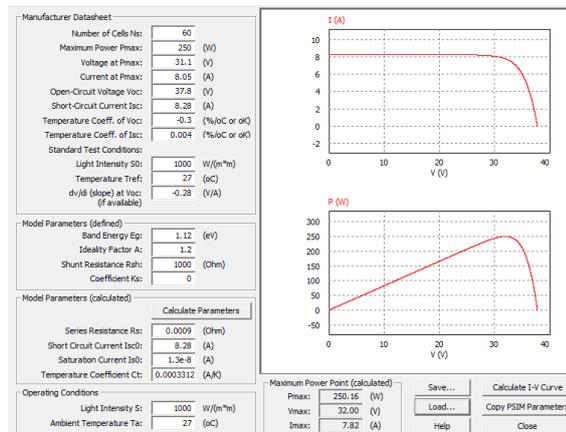
## 2. Perancangan Panel Surya

Model panel surya yang digunakan dalam tulisan ini diambil dari spesifikasi produk *solar world* dengan tipe *sunmodule SW 250 mono / Version 2.0 and 2.5 frame* seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya

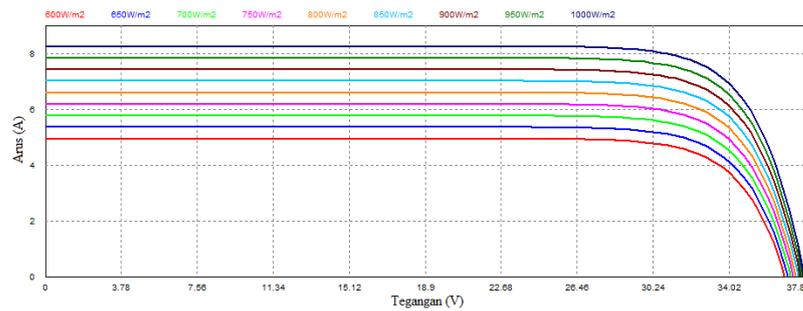
<i>Spesifikasi @ S = 1000W/m<sup>2</sup> pada T = 27°C</i>	
Daya maksimum, $P_{mpp}$	250 W
Tegangan maksimum, $V_{mpp}$	31.1 V
Arus maksimum, $I_{mpp}$	8.05 A
Tegangan <i>open circuit</i> , $V_{oc}$	37.8 V
Arus <i>short circuit</i> , $I_{sc}$	8.28 A
Karakteristik suhu	
Koefisien suhu dari $I_{sc}$	0.004 %/K
Koefisien suhu dari $V_{oc}$	-0.30 %/K

Dari spesifikasi Tabel 1 diatas, dibuat perancangan sistem panel surya seperti yang terlihat pada Gambar 9. Dimana, dari pemodelan panel surya yang dilakukan telah diperoleh;  $P_{max}=250.16W$ ,  $V_{max} = 32V$  dan  $I_{max} = 7.82A$ .

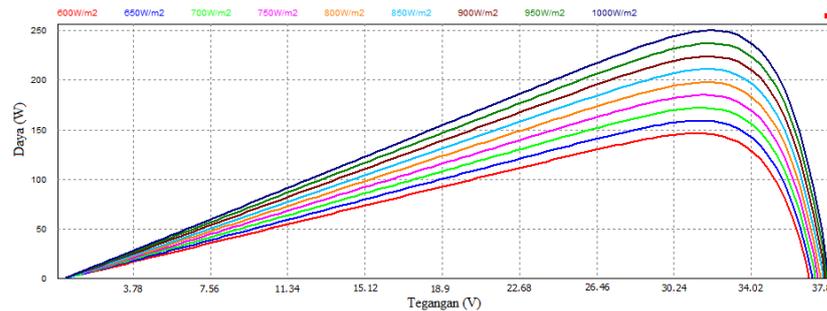


Gambar 9. Perancangan panel surya *sunmodule SW 250 W*

Untuk hasil pengukuran panel surya *sunmodul SW 250 W* pada perubahan iradiasi matahari dari 600 W/m<sup>2</sup> sampai 1000 W/m<sup>2</sup> diperoleh kurva arus-tegangan (I-V) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan kurva daya-tegangan (P-V) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Kurva I-V panel surya 250W



Gambar 11. Kurva P-V panel surya 250W

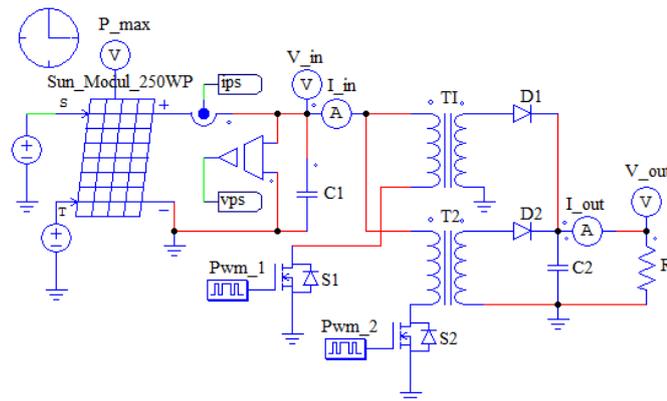
### 3. Perancangan konverter *Interleaved-Flyback*

Dengan tegangan input terendah yang dihasilkan oleh panel surya sebesar  $32 V_{dc}$ , untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar  $400 V_{dc}$  yang diperlukan untuk menghasilkan luaran  $220 V_{ac}$ , diperlukan transformator dengan rasio tegangan sebesar 2:25. Parameter konverter *interleaved flyback* yang digunakan yaitu terdapat pada Tabel 2.

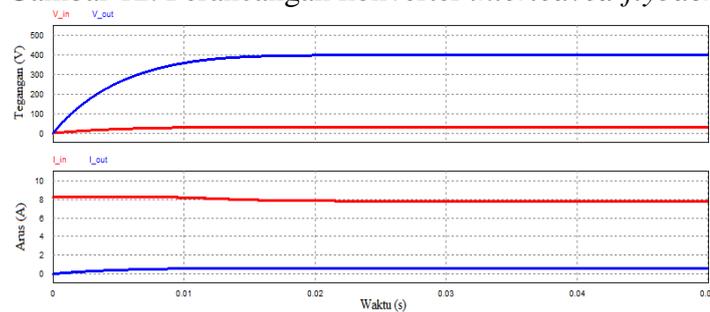
Tabel 2. *Parameter Flyback Interleaved*

Parameter sistem <i>flyback interleaved</i>	
Kapasitor masukan, $C_1$	$500\mu F$
Kapasitor keluaran, $C_2$	$5\mu F$
Tahanan keluaran, $R_L$	$640\Omega$
Frekuensi @ <i>switching</i> $S_1, S_2$	$100kHz$

Gambar 12 memperlihatkan perancangan konverter *interleaved-flyback*. Dimana, tegangan masukan ( $V_{in}$ ) yang terbaca sebesar  $32 V_{dc}$ , tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) sebesar  $400 V_{dc}$ , arus masukan ( $I_{in}$ ) sebesar  $7.82 A$  dan arus keluaran ( $I_{out}$ ) sebesar  $0.625 A$ . Adapun kurva arus dan tegangan pada *interleaved-flyback* ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 12. Perancangan konverter *interleaved-flyback*



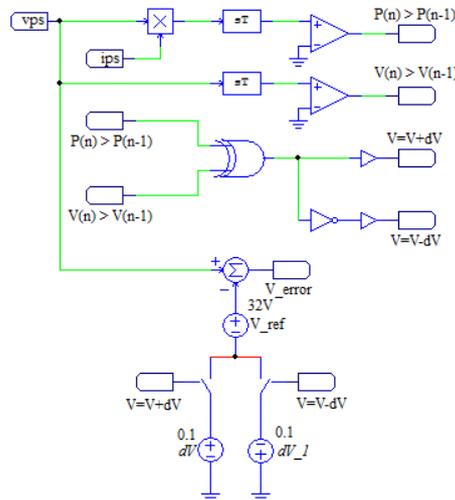
Gambar 13. Kurva tegangan dan arus konverter

#### 4. Perancangan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

##### a. *Perturb and Observe* (P&O)

Model kontrol strategi dari algoritma PO dapat dilihat pada Gambar 14. Sistem akan membaca tegangan ( $V_{ps}$ ) dan arus ( $I_{ps}$ ) dari panel surya dengan menggunakan sensor tegangan dan arus lalu menghitung perubahan daya dan tegangan yang diperoleh dengan menggunakan *differentiator* ( $sT$ ). Untuk memudahkan pengamatan sistem telah dibuat dua kondisi. Kondisi pertama, Ketika perubahan daya mengalami peningkatan  $P_{(n)} > P_{(n-1)}$  dengan tegangan yang meningkat pula  $V_{(n)} > V_{(n-1)}$  maka tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) akan ditambah dengan *step* tegangan ( $\Delta V$ ) sebesar 0,1 dan ketika kondisi tegangan turun  $V_{(n)} < V_{(n-1)}$  maka  $V_{ref}$  dikurangi  $\Delta V$  sebesar 0,1. Kondisi kedua, ketika perubahan daya mengalami penurunan  $P_{(n)} < P_{(n-1)}$  dengan tegangan yang meningkat  $V_{(n)} > V_{(n-1)}$  maka  $V_{ref}$  ditambah  $\Delta V$  sebesar 0,1 dan ketika tegangan turun  $V_{(n)} < V_{(n-1)}$  maka  $V_{ref}$  dikurangi  $\Delta V$  sebesar 0,1. Kemudian menghitung selisih dari tegangan yang terbaca dari panel surya ( $V_{ps}$ ) dengan tegangan

referensi ( $V_{ref}$ ) yang sudah terakumulasi oleh *step* tegangan ( $\Delta V$ ) dan hasil dari selisih tegangannya disebut tegangan *error*. Kemudian data tegangan *error* akan diolah di PI.



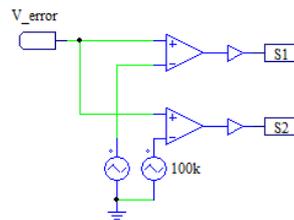
Gambar 14. Model kontrol strategi P&O

b. *Incremental Conductance (IC)*

Model kontrol strategi dari algoritma IC dapat dilihat pada Gambar 15. Sistem akan membaca tegangan ( $V_{ps}$ ) dan arus ( $I_{ps}$ ) dari panel surya lalu menghitung perubahan tegangan dan arus yang diperoleh dengan menggunakan *differentiator* ( $sT$ ). Untuk memudahkan pengamatan sistem telah dibuat dua kondisi. Kondisi pertama, Ketika perubahan tegangan sama dengan nol ( $dv=0$ ) dengan perubahan arus yang meningkat ( $di>0$ ) maka tegangan referensi  $V_{ref}$  ditambah *step* tegangan ( $\Delta V$ ) sebesar 0,1 dan ketika kondisi arus menurun ( $di<0$ ) turun maka  $V_{ref}$  dikurangi  $\Delta V$  sebesar 0,1. Kondisi kedua, ketika perubahan tegangan tidak sama dengan nol ( $dv \neq 0$ ) dengan nilai *incremental conductance* ( $di/dv$ ) lebih besar dari negatif *instant conductance* ( $i/v$ ) maka  $V_{ref}$  di tambah  $\Delta V$  sebesar 0,1 dan ketika nilai  $di/dv$  lebih kecil dari negatif  $i/v$  maka  $V_{ref}$  dikurangi  $\Delta V$  sebesar 0,1. Kemudian hasil perhitungan dari tegangan yang terbaca dari panel surya ( $V_{ps}$ ) dan tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) yang sudah terakumulasi oleh *step* tegangan ( $\Delta V$ ) akan diolah di PI.

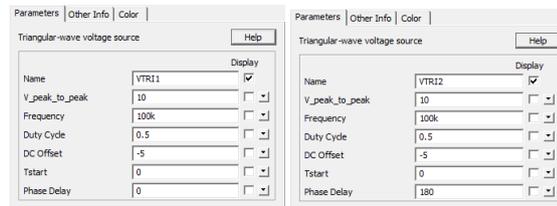


tersebut yaitu 2 buah, dimana gelombang penyaklarannya digeser 180° untuk pengoperasian PWM, nilai tegangan *error* ( $V_{error}$ ) dari MPPT akan dibandingkan dengan nilai tegangan *triangular* atau gelombang segitiga dengan menggunakan komparator. Hasil perbandingan tegangan *error* dan tegangan *triangular* tersebut adalah *duty cycle* yang menentukan waktu *on* dan waktu *off* dari saklar konverter. Adapun model perancangan pada PWM ditunjukkan pada Gambar 16.

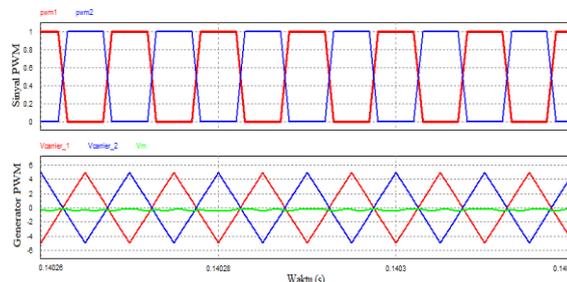


Gambar 16. Model PWM

Untuk penentuan nilai gelombang segitiga atau nilai tegangan *triangular* disesuaikan dengan nilai batas tegangan *error* yaitu dari -5V sampai +5V dan digunakan frekuensi penyaklaran sebesar 100kHz. Adapun parameter yang digunakan pada PWM ditunjukkan pada Gambar 17 dan hasil uji PWM dapat dilihat pada Gambar 18.

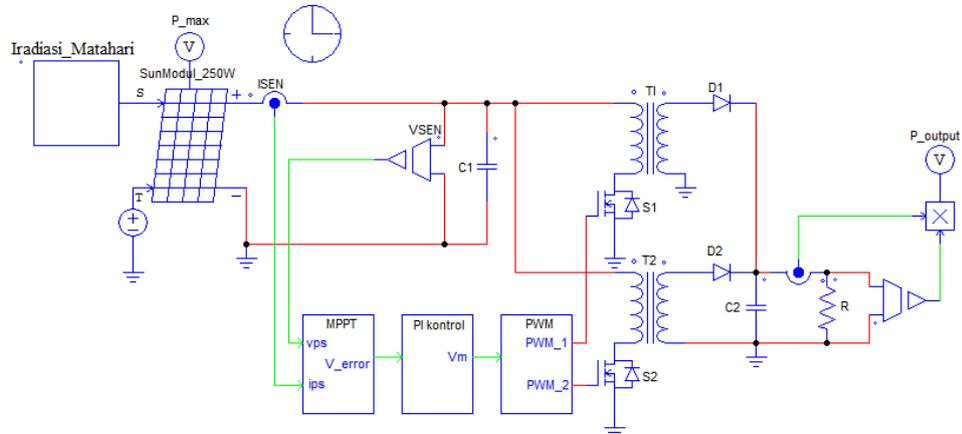


Gambar 17. Parameter PWM 1 dan 2



Gambar 18. sinyal keluaran PWM

## HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 19. Sistem Panel surya 250 W

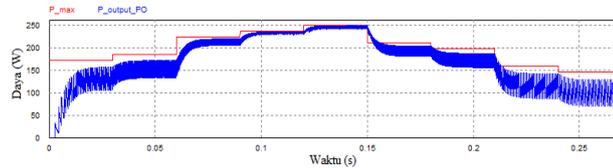
Simulasi dilakukan dengan menghitung nilai efisiensi MPPT digunakan persamaan (12).

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^T P_{out\_max}(t)dt}{\int_0^T P_{max}(t)dt} \times 100\% \quad (12)$$

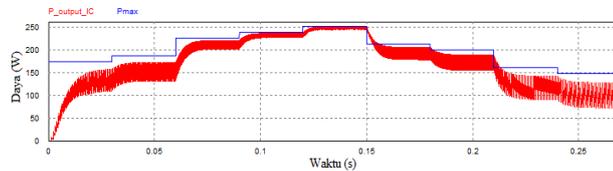
Dimana  $P_{out\_max}(t)$  adalah daya yang diperoleh dari panel surya dibawah kondisi MPPT, dan  $P_{max}(t)$  adalah daya maksimum ideal dari panel surya, dan T merupakan periode waktu untuk setiap perubahan iradiasi. Adapun rangkaian pengujian sistem panel surya 250 W ditunjukkan pada Gambar 19. Hasil simulasi dari sistem panel surya berdasarkan metode P&O dapat dilihat pada Gambar 20 dan metode IC dapat dilihat pada Gambar 21. Pada gambar masing-masing metode MPPT tersebut diperoleh nilai daya keluaran minimum ( $P_{out\_min}$ ) yang menunjukkan nilai daya keluaran sistem panel surya ketika tanpa menggunakan MPPT dan nilai daya keluaran maksimum ( $P_{out\_max}$ ) yang menunjukkan nilai daya dari MPPT yang memaksakan konverter *interleaved flyback* untuk bekerja mendekati nilai daya maksimum panel surya ( $P_{max}$ ) sehingga beban dapat menyerap atau bekerja di titik daya maksimum (MPP).

Pada Tabel 3 diperoleh nilai daya maksimum pada panel surya ( $P_{max}$ ), nilai daya keluaran maksimum yang diserap oleh beban berdasarkan metode P&O

( $P_{out\_max\_PO}$ ), dan nilai daya keluaran maksimum yang diserap oleh beban berdasarkan metode IC ( $P_{out\_max\_IC}$ ) dari masing-masing perubahan iradiasi matahari pada periode yang telah ditentukan.



Gambar 20. Kurva daya keluaran P&O



Gambar 21. Kurva daya keluaran IC

Tabel 3. Daya Keluaran Maksimum

Periode (s)	Iradiasi ( $W/m^2$ )	$P_{max}$ (W)	$P_{out\_max\_PO}$ (W)	$P_{out\_max\_IC}$ (W)
0 - 0,05	700	172,15	167,84	167,35
0,05 - 0,1	750	185,08	181,24	180,77
0,1 - 0,15	900	224,05	222,98	222,83
0,15 - 0,2	950	237,09	236,78	236,71
0,2 - 0,25	1000	250,15	250,11	250,13
0,25 - 0,3	850	211,03	209,08	208,93
0,3 - 0,35	800	198,04	195,06	194,64
0,35 - 0,4	650	159,26	154,79	154,32
0,4 - 0,45	600	146,41	142,11	141,75

Dengan menggunakan rumus dari persamaan (12), maka diperoleh nilai efisiensi daya maksimum pada masing-masing metode MPPT ( $\eta_{MPPT}$ ) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Dimana, nilai rerata efisiensi pada metode P&O ( $\eta_{P\&O}$ ) sebesar 98,51% dan nilai rerata efisiensi pada metode IC ( $\eta_{IC}$ ) sebesar 98,35% dari keseluruhan perubahan iradiasi matahari.

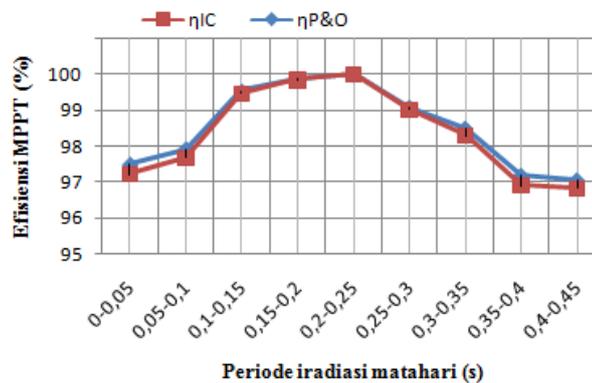
Mengacu pada Tabel 4, maka dibuat grafik nilai efisiensi MPPT (%) terhadap periode iradiasi matahari (s) yang menunjukkan perubahan iradiasi matahari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 22. Pada grafik tersebut menunjukkan kinerja yang baik dari metode P&O dan IC pada periode iradiasi

matahari antara 0,1s-0,3s yang menunjukkan iradiasi matahari diatas  $850\text{W/m}^2$  dimana efisiensi MPPT diatas 99% dan pada periode iradiasi matahari dari 0s-0,1s dan 0,3s-0,45s yang menunjukkan iradiasi matahari dibawah  $850\text{W/m}^2$  dimana efisiensi MPPT berkisar 96% - 99%.

Tabel 4. Daya Efisiensi Keluaran Maksimum

Periode (s)	Iradiasi ( $\text{W/m}^2$ )	$\eta_{P\&O}$ (%)	$\eta_{IC}$ (%)
0 - 0,05	700	97,49	97,21
0,05 - 0,1	750	97,92	97,67
0,1 - 0,15	900	99,52	99,45
0,15 - 0,2	950	99,86	99,83
0,2 - 0,25	1000	99,98	99,99
0,25 - 0,3	850	99,07	99,01
0,3 - 0,35	800	98,49	98,28
0,35 - 0,4	650	97,19	96,89
0,4 - 0,45	600	97,06	96,81
<b>Rerata <math>\eta</math></b>		<b>98,51</b>	<b>98,35</b>

Metode P&O menunjukkan kinerja yang lebih baik pada iradiasi dibawah  $850\text{W/m}^2$  karena metode P&O tersusun dari rangkaian yang lebih sederhana sehingga rugi-ruginya lebih kecil dibandingkan dengan rangkaian pada metode IC.



Gambar 22. Grafik efisiensi MPPT terhadap periode iradiasi matahari

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pada makalah ini telah dipaparkan perancangan keseluruhan sistem panel surya 250 W untuk membandingkan kinerja *maximum power point tracking* (MPPT) pada metode *perturb and observe* (P&O) dan *incremental conductance* (IC) dengan menggunakan simulator PSIM. Panel surya yang digunakan pada

penelitian ini yaitu *Sunmodule SW 250 W* dengan spesifikasi  $V_{\max} = 32 V_{dc}$  dan  $I_{\max} = 7,82 A$ . Digunakan konverter *interleaved flyback* dengan tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) mencapai  $400 V_{dc}$  dan arus output sebesar  $0.625 A$ .

Pada pengujian MPPT digunakan kondisi iradiasi matahari yang berubah-ubah dari  $600 W/m^2$  sampai  $1000 W/m^2$  pada periode waktu yang telah ditentukan yaitu selama  $0,05s$ .

Hasil simulasi diperoleh nilai daya keluaran maksimum ( $P_{out\_max}$ ) yang mampu diserap dari panel surya ( $P_{max}$ ) pada masing-masing metode MPPT. Hasil simulasi menunjukkan metode P&O memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan metode IC, dimana nilai rerata efisiensi MPPT pada metode P&O ( $\eta_{PO}$ ) sebesar  $98,51\%$  dan nilai rerata efisiensi MPPT pada metode IC ( $\eta_{IC}$ ) sebesar  $98,35\%$ .

Saran penelitian selanjutnya adalah di harapkan untuk dibuat *hardware* MPPT yang dapat diimplementasikan pada *microinverter*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Banu, Ioan Viorel, Razvan Beniuga, and Marcel Istrate. 2013. "Comparative Analysis of the Perturb-and-Observe and Incremental Conductance MPPT Methods." In *2013 - 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, ATEE 2013*, , 23–26.
- Beopjun, Jeon et al. 2013. "IncCond MPPT Control Using Flyback Converter." *IEEE*: 357–61.
- Bouselham, L. 2009. "Comparative Study of Different MPPT Methods for Photovoltaic System." *IEEE* 32.
- Guruvulunaidu, P, S S Biswas, Ch Saibabu, and S Satyanarayana. 2016. "Modeling of Interleaved Fly-Back Converter for Photo Voltaic Applications Using PSIM." *AIJRSTEM* 16–253: 181–86.
- Hasyim Asy'ari1, Jatmiko2, Angga3. 2013. "INTENSITAS CAHAYA MATAHARI TERHADAP DAYA KELUARAN PANEL SEL SURYA." *Symposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012*: 52–57.
- Hohm, D P, and M E Ropp. 2000. "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms Using an Experimental, Programmable, Maximum Power Point Tracking Test Bed." *Photovoltaic Specialists Conference, 2000. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE*: 1699–1702.

- Huynh, Duy C, and Matthew W Dunnigan. 2016. "Development and Comparison of an Improved Incremental Conductance Algorithm for Tracking the MPP of a Solar PV Panel." *IEEE Transactions on Sustainable Energy* 7(4): 1421–29.
- Kota, Venkata Reddy, and Member Ieee. 2016. "A Simple and Efficient MPPT Scheme for PV Module Using 2-Dimensional Lookup Table." *IEEE*: 2–8.
- Mamatha, Gangavarapu. 2015. "Perturb and Observe MPPT Algorithm Implementation for PV Applications." *IJCSIT* 6(2): 1884–87.
- Morales-Acevedo, Arturo, Jose Luis Diaz-Bernabe, and Ruben Garrido-Moctezuma. 2014. "Improved MPPT Adaptive Incremental Conductance Algorithm." In *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, , 5540–45.
- Nedumgatt, Jacob James et al. 2011. "Perturb and Observe MPPT Algorithm for Solar PV Systems-Modeling and Simulation." In *Proceedings - 2011 Annual IEEE India Conference: Engineering Sustainable Solutions, INDICON-2011*,.
- Rahman, Md Wazedur, Chaitanya Bathina, V Karthikeyan, and R. Prasanth. 2016. "Comparative Analysis of Developed Incremental Conductance (IC) and Perturb & Observe (P&O) MPPT Algorithm for Photovoltaic Applications." In *Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Systems and Control, ISCO 2016*,.
- Rambo, Carlos E B, Fernando B Reis, Guilherme R Pedrollo, and Fernando S Reis. 2014. "Improving Performance of the P & O MPPT Using Derivative of Photovoltaic Panel Voltage." *IEEE*.
- Saidi, Ahmed. 2016. "Comparison of IC and P & O Algorith Algorithms Ms in MPPT for Grid Connected PV Module." *IEEE*: 213–18.
- Sefa, Ibrahim, and Şaban, Özdemir. 2009. "Experimental Study of Interleaved MPPT Converter for PV Systems." In *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, , 456–61.
- Xiong, Xiong, and Anwen Shen. 2016. "Improved Maximum Power Point Tracking in PV System Based on Flyback Converter." In *Proceedings - 2015 Chinese Automation Congress, CAC 2015*, 1211–14.