

# Perancangan MPPT *Modified Incremental Conductance* menggunakan *Interleaved Boost Converter* untuk Reduksi Osilasi

GIGIH HERNAIN NANDA ALDIANTAMA, NOVIE AYUB WINDARKO, LUCKY PRADIGTA SETIYA RAHARJA

Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia  
Email : [gigihhernain@gmail.com](mailto:gigihhernain@gmail.com)

*Received* 6 Juni 2021 | *Revised* 14 Juli 2021 | *Accepted* 9 Agustus 2021

## ABSTRAK

*Sebagian besar algoritma Maximum Power Point Tracking (MPPT), osilasi daya pada kondisi steady-state menyebabkan kerugian daya (losses) di sistem tersebut. Untuk menangani masalah tersebut dirancanglah algoritma Modified Incremental Conductance, dengan menggunakan kesalahan minimal yang diperbolehkan untuk mengurangi osilasi daya pada kondisi steady-state serta menambahkan variable step size untuk mempercepat pelacakan titik daya maksimum. Dari hasil pengujian berbasis simulasi diketahui bahwa simulasi Three-Legs Interleaved Boost Converter dengan MPPT Modified Incremental Conductance dapat melakukan pelacakan titik daya maksimum dengan nilai iradiasi yang divariasi, algoritma Modified Incremental Conductance dapat melacak titik daya maksimum rata-rata sebesar 0,19 detik dan osilasi daya rata-rata sebesar 0,016 Watt.*

**Kata kunci:** *MPPT, Modified Incremental Conductance, Interleaved Boost Converter, Reduksi Osilasi*

## ABSTRACT

*Most of the Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms, power oscillations in steady-state conditions cause power losses (losses) in the system. To deal with this problem, the Modified Incremental Conductance algorithm was designed, using the minimum allowable error to reduce power oscillations in steady-state conditions and adding a variable step size to accelerate the tracking of the maximum power point. From the simulation-based test results, it is known that the Three-Legs Interleaved Boost Converter simulation with MPPT Modified Incremental Conductance can track the maximum power point with varied irradiation values, the Modified Incremental Conductance algorithm can track the maximum power point on average 0,19 seconds and oscillations average power of 0,016 Watt.*

**Keywords:** *MPPT, Modified Incremental Conductance, Interleaved Boost Converter, Oscillation Reduction*

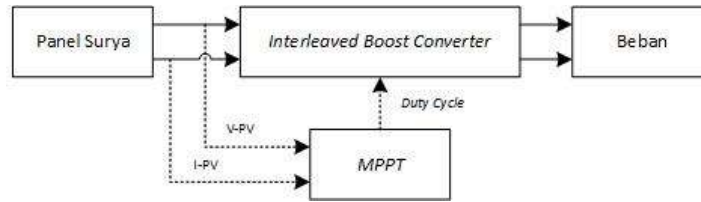
## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi terbarukan terus berkembang seiring dengan meningkatnya taraf hidup pada dunia modern ini. Energi terbarukan seperti angin dan tenaga surya akan berkembang sangat pesat dalam 30 tahun kedepan dikarenakan permintaan minyak bumi dan bahan tambang semakin menurun. Prospek energi terbarukan akan terus meningkat dan diperkirakan akan menjadi sumber energi terbesar pada tahun 2050 (**British Petroleum, 2020**). Salah satu energi terbarukan yang saat ini banyak dikembangkan adalah energi yang didapatkan dari sinar matahari dengan menggunakan panel surya atau biasa disebut *Photovoltaic* (PV). Energi yang dihasilkan panel surya akan disimpan ke dalam baterai, yang mana energi yang telah tersimpan nantinya dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik ketika tidak terdapat sinar matahari seperti pada malam hari. Akan tetapi energi yang dihasilkan oleh panel surya tidaklah konstan atau tidak linier karena energi yang dihasilkan bergantung pada kondisi cuaca dan juga waktu. Selain itu spesifikasi atau parameter dari panel surya yang digunakan juga berpengaruh pada energi yang dihasilkan (**Habibi, dkk, 2020**).

Sebagai upaya untuk memaksimalkan energi yang dihasilkan oleh panel surya maka digunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat berubah-ubah dan tergantung pada radiasi sinar matahari dan temperatur permukaan panel surya. Untuk menangani masalah tersebut digunakan metode MPPT untuk menjaga efisiensi penyaluran daya dari panel surya menuju beban tetap pada kondisi optimumnya (**Radjai, dkk, 2014**).

Sampai saat ini telah banyak algoritma yang diperkenalkan dan berhasil diimplementasikan dalam metode MPPT. Secara umum algoritma tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu dengan menggunakan pendekatan secara konvensional dan menggunakan pendekatan secara komputasi lunak (*soft computing*). Algoritma MPPT konvensional di antaranya adalah *Perturbation and Observation* (P&O) *Method* (**Ahmed & Salam, 2016**), *Incremental Conductance* (IC) *Method* (**Tey, dkk, 2014**), *Constant Voltage* (CV) *Method*, *Temperature* (T) *Method*, dan masih banyak lagi (**Babaa, dkk, 2014**). Sedangkan algoritma MPPT komputasi lunak diantaranya adalah *Artificial Neural Network* (ANN) (**Yap, dkk, 2020**), *Fuzzy Logic Control* (**Rezk, dkk, 2019**), *Grey Wolf Optimization* (GWO) (**Mohanty, dkk, 2017**), *Differential Evolution* (DE) (**Tey, dkk, 2018**), *Particle Swarm Optimization* (PSO) (**Koad, dkk, 2017**), dan masih banyak lagi.

Di antara algoritma MPPT konvensional, P&O dan IC merupakan yang paling populer dan sering digunakan karena sangat sederhana, serta menunjukkan hasil konversi yang baik. Kedua algoritma ini bekerja untuk melawan kurva tegangan (P-V) dari modul PV. Kedua algoritma ini menyesuaikan *duty cycle* dari *DC-DC Converter* di sistem PV tersebut untuk memastikan hasil keluarannya berada pada kondisi *Maximum Power Point* (MPP). Algoritma *Perturbation and Observation* (P&O) memiliki kelemahan di antaranya memiliki nilai efisiensi yang buruk pada saat iradiasi rendah. Selain itu algoritma P&O juga rentan pada kondisi tidak menentu seperti perubahan tingkat cahaya yang cepat, hal tersebut dapat menimbulkan kesalahan dipelacakan kondisi MPP. Pada Algoritma P&O osilasi daya dapat terjadi pada kondisi *steady-state* setelah mencapai kondisi MPP, hal ini dikarenakan adanya perubahan untuk mempertahankan kondisi MPP. Osilasi daya pada kondisi *steady-state* menyebabkan kerugian daya (*losses*) di sistem tersebut (**Ahmed & Salam, 2018**).



**Gambar 1. Blok Diagram Sistem**

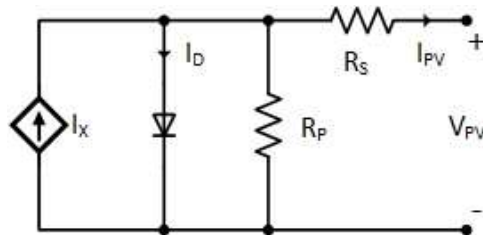
Algoritma *Incremental Conductance* (IC) berupaya untuk mengatasi keterbatasan dari algoritma P&O. Algoritma ini bekerja dengan cara mencari titik operasi tegangan yang mana nilai konduktansinya sebanding dengan nilai penambahan konduktansi. Keuntungan dari algoritma ini adalah memiliki kemampuan untuk memastikan "jarak" relatif ke titik daya maksimumnya (MPP), oleh karena itu algoritma ini dapat menentukan kapan kondisi MPP telah tercapai. Algoritma IC mampu melacak kondisi MPP dengan lebih tepat dikondisi cuaca yang bervariasi, dan menunjukkan osilasi daya yang lebih kecil dikondisi MPP bila dibandingkan dengan algoritma P&O (Tey & Mekhilef, 2014).

Paper ini membahas mengenai perancangan algoritma *Incremental Conductance* (IC) yang dimodifikasi dengan menambahkan nilai kesalahan minimal yang diperbolehkan dan juga *variable step* untuk mengurangi osilasi daya pada kondisi *steady-state* dan meningkatkan kecepatan waktu pelacakan titik daya maksimum. Algoritma yang telah dirancang akan diimplementasikan pada *Interleaved Boost Converter*, yang mana konverter topologi ini memiliki kelebihan yaitu ukuran komponen *filter* yang digunakan lebih kecil dan nilai arus yang melewati induktor memiliki *ripple peak-to-peak* yang lebih kecil (Musumeci, dkk, 2020). Sehingga *Interleaved Boost Converter* sangat sesuai dengan algoritma yang akan digunakan untuk mereduksi osilasi daya.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Rangkaian Ekuivalen Panel Surya

Modul PV (*Photovoltaic*) atau Panel Surya adalah sumber energi yang terdiri dari beberapa sel surya yang terhubung secara seri dan paralel dan dapat menghasilkan energi ketika terkena sinar matahari. Sebuah modul PV dapat dimodelkan sebagai sumber arus yang diparalel dengan dioda dan memiliki tahanan seri dan tahanan paralel terhadap bias diode (Windarko, dkk, 2021).



**Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen Panel Surya**

$I_{PV}$  adalah arus terminal dari panel surya yang dihasilkan oleh  $I_x$ ,  $I_D$  dan  $I_{Rp}$  yang direpresentasikan pada Persamaan (1).

$$I_{PV} = I_x - I_D - I_{Rp} \quad (1)$$

$I_x$  adalah model sumber arus DC untuk arus listrik yang diproduksi oleh radiasi matahari.  $I_D$  adalah arus dioda internal.  $I_{Rp}$  adalah arus resistansi shunt.  $I_D$  direpresentasikan dalam Persamaan (2).

$$I_D = I_o \left[ \exp\left(\frac{qV_D}{AkT_0}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

$I_o$  adalah arus saturasi gelap dari sel surya. Dimana  $q$  adalah muatan elektron ( $q = 1.6 \times 10^{-19}$ ).  $V_D$  adalah tegangan dioda internal.  $A$  adalah faktor idealitas dari setiap sel surya, atau biasa disebut koefisien emisi, dan  $k$  adalah konstanta Boltzmann ( $k = 1.3806505 \times 10^{-23}$ ).  $T_0$  dan  $S_0$  adalah kondisi uji standar suhu dan iradiasi.  $I_o$  direpresentasikan dalam Persamaan (3).

$$I_o = I_{so} \left(\frac{T}{T_0}\right)^3 \exp\left[\frac{qE_g}{Ak} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (3)$$

$I_{so}$  adalah arus saturasi dioda.  $T$  adalah suhu lingkungan.  $E_g$  adalah energi dari setiap sel surya.  $V_D$  direpresentasikan dalam Persamaan (4).

$$V_D = V_{pV} + I_{pV} \cdot R_s \quad (4)$$

$R_s$  dan  $R_p$  adalah resistansi shunt internal dan arus bocor.  $I_x$  direpresentasikan dalam Persamaan (5).

$$I_x = I_{sc} \frac{S}{S_0} + C_t(T - T_0) \quad (5)$$

$I_{sc}$  adalah arus hubung singkat pada sel surya.  $S$  adalah nilai aktual iradiasi dari panel surya.  $C_t$  adalah koefisien temperature.  $I_{Rp}$  direpresentasikan dalam Persamaan (6).

$$I_{Rp} = \frac{V_D}{R_p} \quad (6)$$

$V_s$  adalah tegangan total dari panel surya yang terhubung secara seri dan direpresentasikan dalam Persamaan (7).

$$V_s = N_s \cdot V_{pV} \quad (7)$$

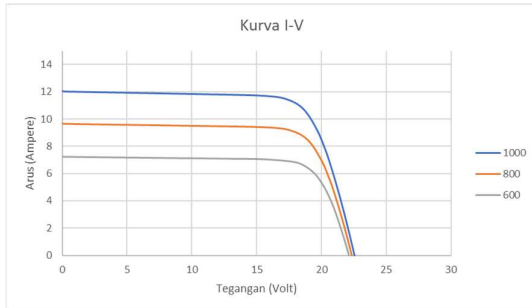
$I_p$  adalah arus total dari panel surya yang terhubung secara paralel dan direpresentasikan dalam Persamaan (8).

$$I_p = N_p \cdot I_{pV} \quad (8)$$

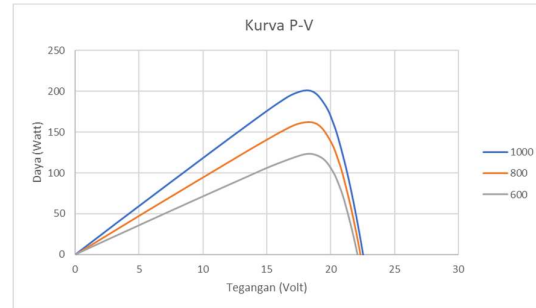
Pada Tabel 1 menunjukkan nilai parameter dari panel surya yang akan digunakan dalam sistem. Sistem ini menggunakan 2 buah panel surya yang dirangkai secara paralel. Kurva karakteristik dari panel surya yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. kurva I-V dan pada Gambar 4 kurva P-V.

**Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya**

<b>KENIKA</b>	
<b>Monocrystalline</b>	
<i>Rated Maximum Power (Pmp)</i>	100 W
<i>Power Tolerance</i>	0 ~ + 5 W
<i>Open-circuit Voltage (Voc)</i>	22,5 V
<i>Voltage at Pmp (Vmp)</i>	18 V
<i>Short-circuit Current (Isc)</i>	6,01 A
<i>Current at Pmp (Imp)</i>	5,56 A
<i>Maximum System Voltage</i>	1000 V
<i>Maximum Series Fuse</i>	15 A
<i>Weight</i>	5,5 Kgs
<i>Dimension</i>	820 x 670 x 30 mm
<i>Standart test condition</i>	1000 W/m <sup>2</sup> , 25°C



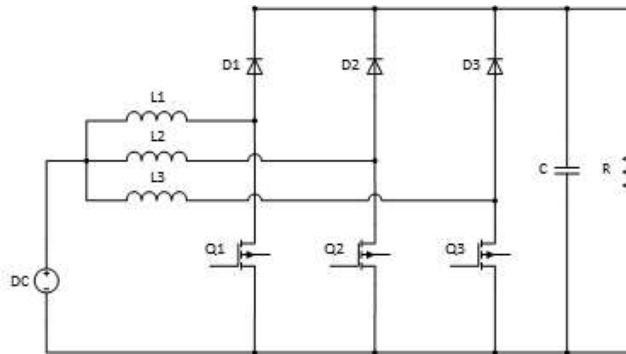
**Gambar 3. Kurva I-V Panel Surya**



**Gambar 4. Kurva P-V Panel Surya**

### 2.2 *Three-Legs Interleaved Boost Converter*

Konverter topologi ini sama dengan *boost converter*. *Interleaved Boost Converter* terdiri dari dua unit *boost converter* atau lebih yang dihubungkan secara paralel, yang mana dikontrol oleh dua sinyal kontrol atau lebih dengan perbedaan fasa. *Interleaving* atau juga disebut *Multifase* adalah teknik yang berguna untuk mengurangi ukuran komponen filter. Gambar 5 menunjukkan rangkaian skematik dari *Interleaved Boost Converter*. Konverter ini menggunakan tiga unit *boost converter* yang dihubungkan secara paralel (**Musumeci, dkk, 2020**).



**Gambar 5. Rangkaian *Three-Legs Interleaved Boost Converter***

*Interleaved converter* dapat diaplikasikan lebih dari dua konverter. Nilai pergeseran fasa dapat dihitung dengan Persamaan (9).

$$phase\ shift = \frac{360}{n} \quad (9)$$

Dimana  $n$  adalah jumlah konverter yang terhubung secara paralel. *Switch* dari *Three-Legs Interleaved Boost Converter* akan beroperasi dengan beda fasa sebesar  $120^\circ$ , dan menghasilkan arus yang mengalir ke induktor juga dengan perbedaan fasa sebesar  $120^\circ$ . Setiap induktor akan dilewati sepertiga dari arus beban dan daya keluaran, sehingga nilai arus rata-rata induktor adalah sepertiga dari arus yang seharusnya untuk satu *boost converter* (Musumeci, dkk, 2020).

Arus yang mengalir pada *Interleaved Boost Converter* memasuki kapasitor dan resistor adalah hasil penjumlahan dari arus yang melewati induktor, yang mana memiliki nilai *ripple peak-to-peak* yang lebih kecil dan frekuensi lebih besar dari arus induktor, nilai ripple dari arus masukan sumber energi juga akan berkurang. Nilai *ripple peak-to-peak* yang lebih kecil tetap bisa didapatkan dengan *boost converter* namun membutuhkan nilai kapasitor yang lebih besar (Ganta, dkk, 2012).

Perancang *Interleaved Boost Converter* perlu memperhatikan parameter sebagai berikut.  $D$  adalah nilai *duty cycle* dari konverter, yang dapat direpresentasikan dalam Persamaan (10).

$$D = 1 - \left(\frac{V_s}{V_o}\right) \quad (10)$$

$V_s$  adalah nilai tegangan masukan dari konverter.  $V_o$  adalah nilai tegangan keluaran dari konverter.  $I_{L(avg)}$  adalah nilai arus rata-rata pada induktor yang dapat direpresentasikan dalam Persamaan (11).

$$I_{L(avg)} = \frac{\left(\frac{V_s(min)}{(1-D)^2 \times R}\right)}{n} \quad (11)$$

$R$  adalah nilai tahanan beban dan  $n$  adalah jumlah konverter yang terhubung secara paralel.  $\Delta I_L$  adalah nilai *ripple* arus rata-rata pada induktor yang dapat direpresentasikan dalam Persamaan (12).

$$\Delta I_L = r \Delta I_L \times I_{L(avg)} \quad (12)$$

Dimana  $r \Delta I_L$  adalah persentase nilai *ripple* arus rata-rata pada induktor.  $L$  adalah nilai induktor yang dapat direpresentasikan dalam Persamaan (13).

$$L = \left(\frac{1}{f}\right) \times [(V_o + V_f) - V_s] \times \frac{V_s}{(V_o + V_f)} \times \left(\frac{1}{\Delta I_L}\right) \quad (13)$$

$V_f$  adalah nilai tegangan *forward* pada dioda. Nilai  $R$  dapat direpresentasikan dalam Persamaan (14).

$$R = \frac{V_o}{I_o} \quad (14)$$

Nilai  $C_o$  dapat direpresentasikan dalam Persamaan (15).

$$C_o = \frac{V_o \times D}{R \times \Delta V_o \times f} \quad (15)$$

### 2.3 Modified Incremental Conductance

Algoritma *Incremental Conductance* (IC) menggunakan kemiringan kurva P-V untuk melakukan pelacakan kondisi MPP, selain itu diperlukan juga untuk menentukan gradien dari kurva P-V. Nilai gradien dari kurva P-V akan bernilai nol saat mencapai kondisi MPP. Hal ini dapat dituliskan dalam Persamaan (16).

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (16)$$

Dimana dP adalah perubahan daya (watt) dan dV adalah perubahan tegangan (volt). Diketahui pula nilai daya merupakan hasil kali dari nilai tegangan dan nilai arus. Persamaan tersebut dapat dijabarkan lagi menjadi sebagai berikut.

$$P = V \times I \quad (17)$$

$$\frac{dP}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} \quad (18)$$

$$I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad (19)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (20)$$

Dimana dI adalah perubahan arus (ampere), dV adalah perubahan tegangan (volt), I adalah arus (ampere), dan V adalah tegangan (volt). Algoritma ini menggunakan *instantaneous conductance* (I/V) dan *incremental conductance* (dI/dV) untuk melacak titik daya maksimum. Dengan menggunakan dua nilai tersebut, algoritma akan menentukan titik operasi dari modul PV pada kurva P-V.

Untuk menangani masalah osilasi daya tersebut dirancanglah algoritma *Incremental Conductance* yang telah dimodifikasi. Dengan menambahkan nilai kesalahan minimal yang diperbolehkan untuk mengurangi osilasi daya pada kondisi *steady-state* dan dapat dituliskan dalam Persamaan (21).

$$\left| I + V \frac{dI}{dV} \right| < 0.06 \quad (21)$$

Dengan menambahkan nilai kesalahan minimal sebesar 0.06 ini artinya nilai dari fungsi yang dibawah 0.06 tidak akan mengubah nilai duty cycle dari konverter, dan apabila nilai dari fungsi diatas 0.06 maka proses akan berlanjut, sehingga hasil daya akan tetap pada kondisi maksimal dan osilasi daya dapat direduksi (**Tey & Mekhilef, 2014**).

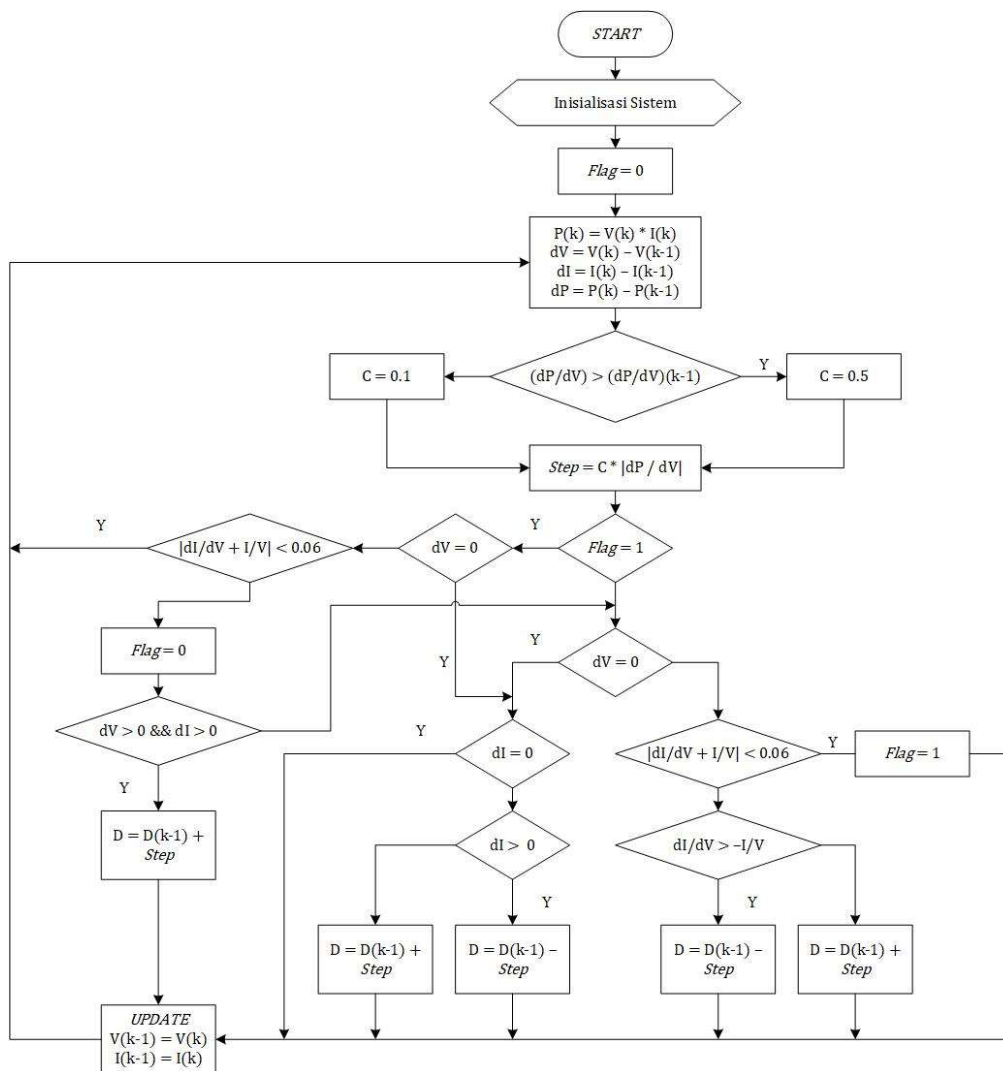
Algoritma ini juga menggunakan nilai *step* yang konstan untuk mencapai kondisi MPP. Nilai tegangan dan nilai arus dari modul PV akan dideteksi oleh sensor, kemudian algoritma akan mengubah nilai *duty cycle* pada konverter, nilai *duty cycle* akan dinaikan atau diturunkan hingga mencapai daya yang maksimal. Nilai *duty cycle* akan dinaikan atau diturunkan dengan menambahkan atau mengurangi *variable step* (**Zhu, dkk, 2018**).

$$D(k) = D(k - 1) \pm \text{step} \quad (22)$$

Apabila *variable step* bernilai kecil maka waktu untuk mencapai titik daya maksimum akan semakin lamban, namun apabila *variable step* bernilai besar maka akan terjadi banyak kesalahan pada kondisi *steady-state* atau osilasi daya. Untuk menangani masalah *variable step* tersebut maka perlu dirancang *variable step* yang lebih adaptif (Yang, dkk, 2017) (Liu & Zhang, 2019).

$$D(k) = D(k - 1) \pm \text{step} \quad (23)$$

$$\text{step} = C \times \left| \frac{\Delta P}{\Delta V} \right| \quad (24)$$



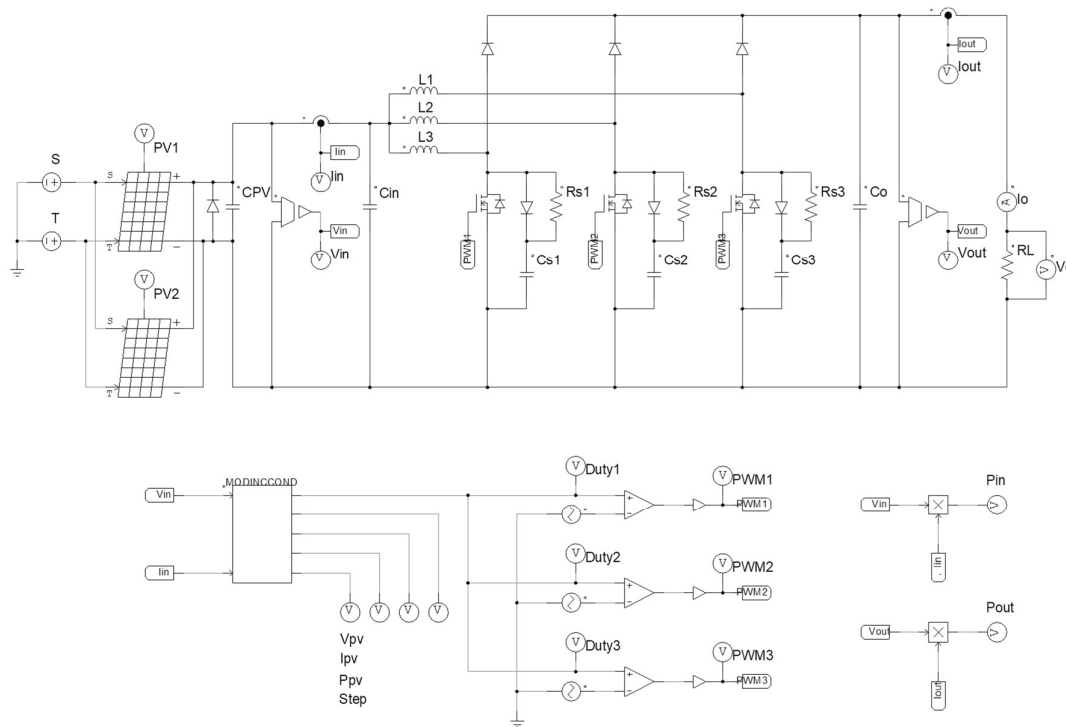
**Gambar 6. Flowchart Modified Incremental Conductance**

Dimana nilai  $D(k)$  adalah nilai *duty cycle* aktual,  $D(k-1)$  adalah nilai *duty cycle* sebelumnya,  $C$  adalah nilai konstanta *step*,  $\Delta P$  adalah nilai perubahan daya, dan  $\Delta V$  adalah nilai perubahan tegangan. Nilai *step* akan secara otomatis berubah dan menyesuaikan terhadap perubahan nilai iradiasi matahari dan temperatur modul PV (Serrano-Guerrero, dkk, 2016) (Rahim, dkk, 2016). Algoritma *Modified Incremental Conductance* dapat dilihat pada Gambar 6.



### 3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

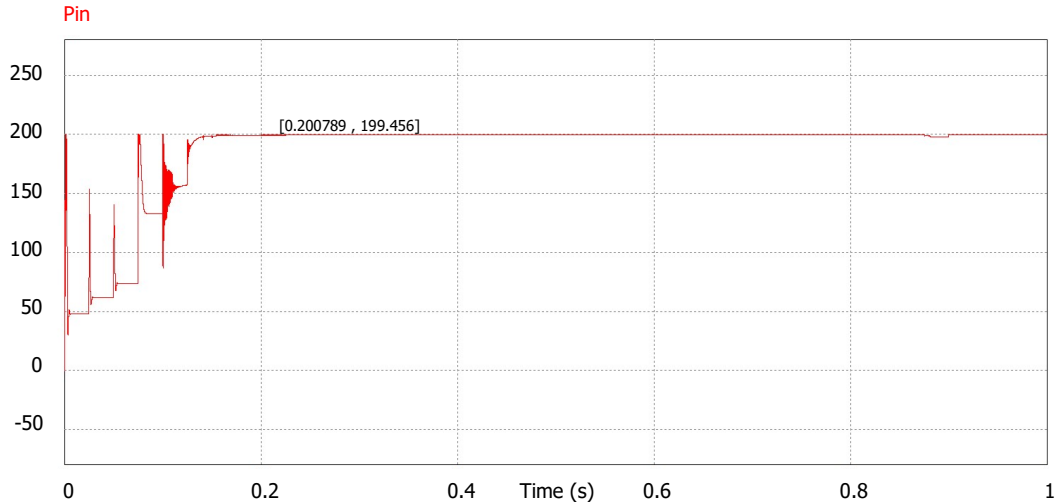
Pengujian yang dilakukan dalam paper ini berbasis simulasi menggunakan *software* PSIM dengan menggunakan spesifikasi panel surya pada Tabel 1. Algoritma MPPT akan diprogram menggunakan fitur C-Block yang berfungsi untuk mengkomputasi algoritma hingga dapat menghasilkan referensi *duty cycle* yang akan mengoperasikan konverter. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kondisi iradiasi matahari yang tetap dan akan divariasi mulai dari 1000 W/m<sup>2</sup>, sampai dengan 500 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan kondisi suhu dari panel surya akan bernilai konstan sebesar 25°C. Pengujian MPPT menggunakan nilai iradiasi matahari yang tetap dilakukan untuk mengetahui respon awal saat MPPT melakukan *tracking*. Gambar 7 menunjukkan rangkaian MPPT dengan *Interleaved Boost Converter*.



**Gambar 7. Rangkaian MPPT dengan *Interleaved Boost Converter***

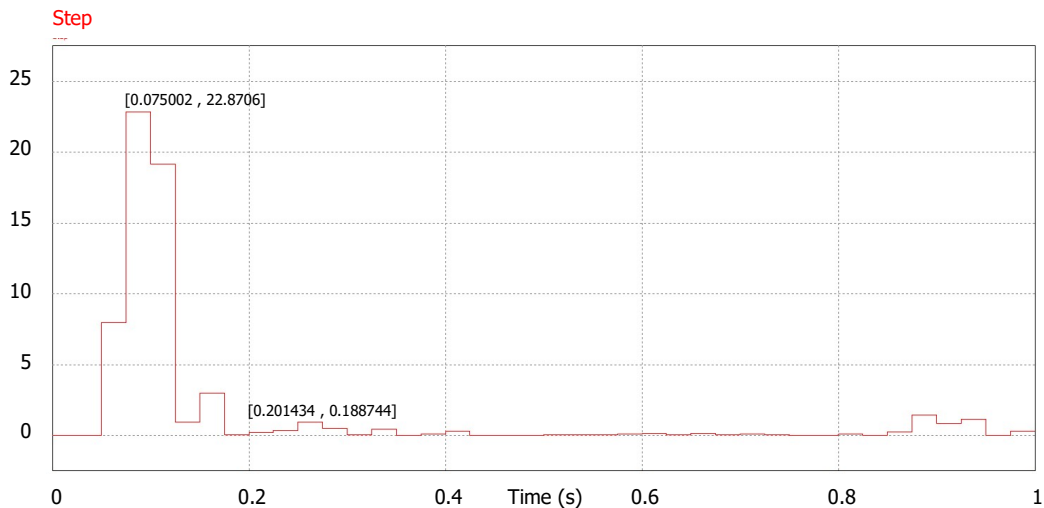
Pengujian ini membandingkan performa dari MPPT menggunakan Algoritma *Incremental Conductance* dan Algoritma *Modified Incremental Conductance*. Kemudian akan diamati nilai daya input modul PV (Watt), daya output konverter (Watt), osilasi daya input (Watt), serta kecepatan waktu pelacakan untuk mencapai titik daya maksimum (detik).

Perancangan MPPT *Modified Incremental Conductance* Menggunakan *Interleaved Boost Converter* untuk Reduksi Osilasi



**Gambar 8. Daya Input PV MPPT *Modified Incremental Conductance* (Iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup>)**

Gambar 8 menunjukkan respon dari MPPT *Modified Incremental Conductance*. Dapat dilihat bahwa MPPT *Modified Incremental Conductance* mencapai titik daya maksimum yaitu sebesar 199,456 Watt dengan waktu pelacakan 0,201 detik. Namun dari gambar diatas bisa diketahui bahwa masih terjadi osilasi daya pada kondisi *steady-state* yaitu sebesar 0,015 Watt.



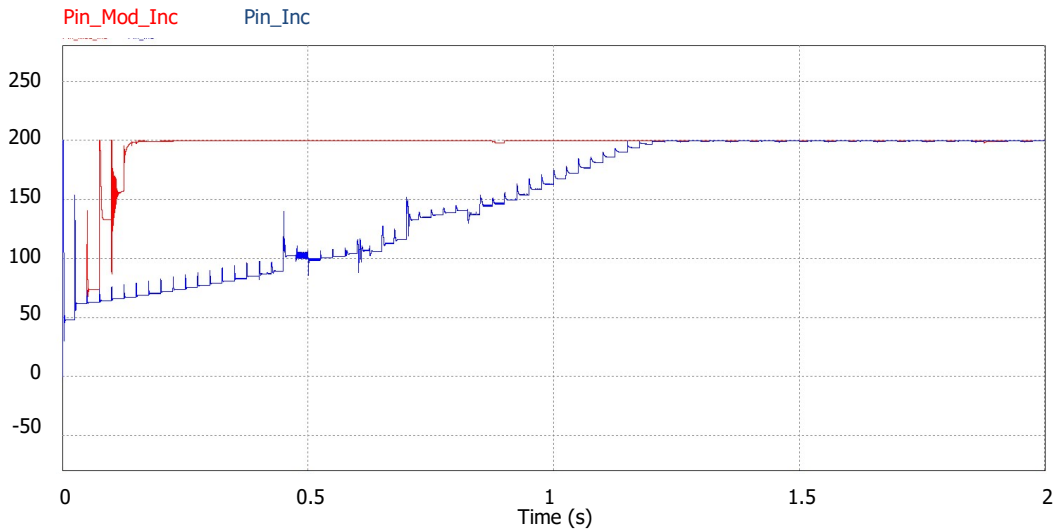
**Gambar 9. *Variable Step Size Interleaved Boost Converter* MPPT *Modified Incremental Conductance* (Iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup>)**

Gambar 9 menunjukkan perubahan nilai *step* dari *duty cycle*. Dapat dilihat bahwa terjadi perubahan nilai *step* yang pada kondisi awal bernilai 22,87 dan terus turun hingga mencapai 0,18 pada kondisi *steady state*. Perubahan nilai *step duty cycle* menandakan bahwa di setiap iterasi semakin mendekati titik daya maksimum. Apabila titik daya maksimum masih jauh maka nilai *step* akan bernilai besar, namun apabila titik daya maksimum sudah dekat maka nilai *step* akan bernilai kecil, sehingga osilasi daya juga akan semakin kecil.

**Tabel 2. Hasil Pengujian MPPT *Incremental Conductance* dan *Modified Incremental Conductance***

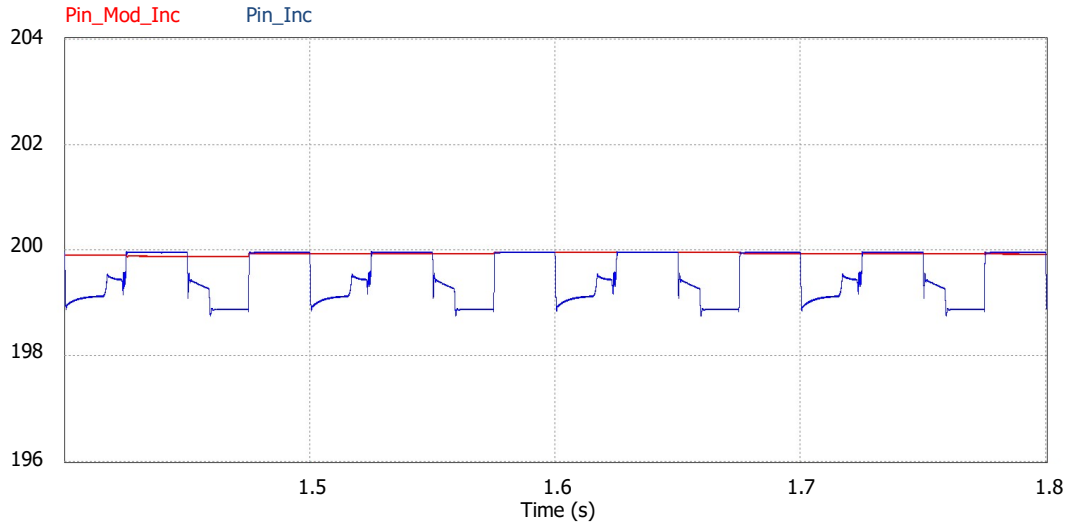
Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	<i>Incremental Conductance</i>			<i>Modified Incremental Conductance</i>		
	Daya Input (Watt)	Osilasi Daya (Watt)	Waktu Tracking (detik)	Daya Input (Watt)	Osilasi Daya (Watt)	Waktu Tracking (detik)
1000	198,943	1,228	1,226	199,456	0,015	0,201
950	189,121	0,476	1,249	190,25	0,033	0,2
900	180,433	2,035	1,2	179,826	0,014	0,201
850	170,494	0,656	1,129	170,597	0,015	0,201
800	160,731	1,747	1,103	160,564	0,015	0,201
750	150,578	1,286	1,054	150,52	0,017	0,201
700	140,796	0,95	1,03	140,412	0,015	0,201
650	130,717	1,013	0,989	130,309	0,015	0,201
600	120,458	0,937	0,957	120,264	0,013	0,201
550	110,513	0,708	0,927	110,512	0,014	0,151
500	100,341	0,17	0,731	100,45	0,011	0,125

Dari hasil pengujian MPPT *Incremental Conductance* dan MPPT *Modified Incremental Conductance* dapat dibandingkan untuk mengetahui performa dari masing-masing algoritma. Berdasarkan data simulasi MPPT *Incremental Conductance* mencapai nilai osilasi daya rata-rata yaitu sebesar 1,019 Watt dan dapat melacak titik daya maksimum rata-rata sebesar 1,054 detik. Sedangkan MPPT *Modified Incremental Conductance* mencapai nilai osilasi daya rata-rata yaitu sebesar 0,016 Watt dan dapat melacak titik daya maksimum rata-rata sebesar 0,19 detik.



**Gambar 10. Perbandingan Daya Input PV MPPT *Incremental Conductance* dan *Modified Incremental Conductance* (Iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup>)**

Perancangan MPPT *Modified Incremental Conductance* Menggunakan *Interleaved Boost Converter* untuk Reduksi Osilasi



**Gambar 11. Perbandingan Osilasi Daya Input PV MPPT *Incremental Conductance* dan *Modified Incremental Conductance* (Iradiasi  $1000 \text{ W/m}^2$ )**

Pada Gambar 10 dan Gambar 11 dapat diketahui bahwa MPPT *Modified Incremental Conductance* mampu melacak titik daya maksimum dengan lebih cepat dan memiliki osilasi daya yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan MPPT *Incremental Conductance*. Kecepatan waktu pelacakan pada MPPT *Modified Incremental Conductance* terjadi karena terdapat *variable step size* sehingga nilai *step duty cycle* dapat berubah-ubah dengan menyesuaikan daya yang terbaca dari sensor arus dan sensor tegangan pada sisi masukan. Pada MPPT *Incremental Conductance* menggunakan nilai *step duty cycle* yang konstan yaitu bernilai "1", nilai *step duty cycle* akan berpengaruh pada kecepatan untuk mencapai titik daya maksimum dan osilasi daya yang dihasilkan. Apabila nilai *step duty cycle* bernilai besar maka kecepatan untuk mencapai titik daya maksimum juga akan semakin cepat namun akan terjadi osilasi daya pada kondisi *steady state* yang semakin besar. Apabila nilai *step duty cycle* bernilai kecil maka kecepatan untuk mencapai titik daya maksimum akan semakin lambat namun osilasi daya pada kondisi *steady state* akan semakin kecil. Pada MPPT *Modified Incremental Conductance* terjadi osilasi daya yang lebih kecil yaitu rata-rata sebesar 0,016 Watt, sedangkan pada MPPT *Incremental Conductance* terjadi osilasi daya rata-rata sebesar 1,019 Watt. Hal ini dikarenakan telah ditambahkan nilai kesalahan minimal pada algoritma. Apabila nilai dari fungsi dibawah nilai kesalahan minimal maka tidak akan mengubah nilai *duty cycle*, dan apabila nilai dari fungsi diatas nilai kesalahan minimal maka proses akan berlanjut dan nilai *duty cycle* akan diubah, sehingga hasil daya akan tetap dalam kondisi maksimal dan osilasi daya akan berkurang.

#### 4. KESIMPULAN

Paper ini menunjukkan pengujian performa dari MPPT menggunakan *Interleaved Boost Converter* dengan membandingkan antara penggunaan algoritma *Incremental Conductance* dan algoritma *Modified Incremental Conductance* berbasis simulasi pada *software* PSIM. Hasil simulasi daya modul PV 200 Watt menggunakan algoritma *Incremental Conductance* didapatkan nilai titik daya maksimum sebesar 198,943 Watt dengan waktu pelacakan 1,226 detik. Sedangkan pada algoritma *Modified Incremental Conductance* didapatkan nilai titik daya maksimum sebesar 199,41 Watt dengan waktu pelacakan 0,2 detik. Hasil pengujian dengan nilai iradiasi yang divariasikan, algoritma *Incremental Conductance* dapat melacak titik daya maksimum rata-rata sebesar 1,054 detik dan osilasi daya rata-rata sebesar 1,019 Watt. Sedangkan pada algoritma *Modified Incremental Conductance* dapat melacak titik daya

maksimum rata-rata sebesar 0,19 detik dan osilasi daya rata-rata sebesar 0,016 Watt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan algoritma *Modified Incremental Conductance* dapat menurunkan osilasi daya dan dapat mempercepat pelacakan titik daya maksimum apabila dibandingkan dengan algoritma *Incremental Conductance*.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Ahmed, J., & Salam, Z. (2016). A Modified P&O Maximum Power Point Tracking Method with Reduced Steady-State Oscillation and Improved Tracking Efficiency. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *7*(4), 1506–1515.
- Ahmed, J., & Salam, Z. (2018). An Enhanced Adaptive P&O MPPT for Fast and Efficient Tracking Under Varying Environmental Conditions. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *9*(3), 1487–1496.
- Babaa, S. E., Armstrong, M., & Pickert, V. (2014). Overview of Maximum Power Point Tracking Control Methods for PV Systems. *Journal of Power and Energy Engineering*, *2*(8), 59–72.
- British Petroleum. (2021). BP Energy Outlook 2020 edition. *BP Energy Outlook 2030, Statistical Review*. London: British Petroleum., 81. Retrived from www.bp.com
- Ganta, M., Nirupa, P., Akshitha, T., & Seyezhai, R. (2012). Simple And Efficient Implementation Of Two-Phase Interleaved Boost Converter For Renewable Energy Source. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, *2*(4), 676–681.
- Habibi, M. N., Prakoso, D. N., Windarko, N. A., & Tjahjono, A. (2020). Perbaikan MPPT Incremental Conductance menggunakan ANN pada Berbayang Sebagian dengan Hubungan Paralel. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, *8*(3), 546.
- Koad, R. B. A., Zobia, A. F., & El-Shahat, A. (2017). A Novel MPPT Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for Photovoltaic Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *8*(2), 468–476.
- Liu, Y., & Zhang, Y. (2019). A Novel Improved Variable Step Size INC MPPT Method for PV Systems. *Proceedings of the 31st Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2019*, (pp. 5070–5073).
- Mohanty, S., Subudhi, B., & Ray, P. K. (2017). A Grey Wolf-Assisted Perturb & Observe MPPT Algorithm for a PV System. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, *32*(1), 340–347.
- Musumeci, S., Bojoi, R., Armando, E., Borlo, S., & Mandrile, F. (2020). Three-Legs Interleaved Boost Power Factor Corrector for High-Power LED Lighting Application. *Energies*, *13*(7), 1728.
- Radjai, T., Rahmani, L., Mekhilef, S., & Gaubert, J. P. (2014). Implementation of A Modified

- Incremental Conductance MPPT Algorithm with Direct Control Based on A Fuzzy Duty Cycle Change Estimator Using dSPACE. *Solar Energy*, 110, 325–337.
- Rahim, N. A., Amir, A., Amir, A., & Selvaraj, J. (2016). Modified Incremental Conductance MPPT with Direct Control and Dual Scaled Adaptive Step-Size Method. *IET Conference Publications*, 2016, (pp. 688).
- Rezk, H., Aly, M., Al-Dhaifallah, M., & Shoyama, M. (2019). Design and Hardware Implementation of New Adaptive Fuzzy Logic-Based MPPT Control Method for Photovoltaic Applications. *IEEE Access*, 7, 106427–106438.
- Serrano-Guerrero, X., González-Romero, J., Cárdenas-Carangui, X., & Escrivá-Escrivá, G. (2016). Improved Variable Step Size P&O MPPT Algorithm for PV Systems. *Proceedings - 2016 51st International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2016, 2017-January(1)*, (pp. 1–6).
- Tey, K. S., & Mekhilef, S. (2014). Modified Incremental Conductance MPPT Algorithm to Mitigate Inaccurate Responses Under Fast-Changing Solar Irradiation Level. *Solar Energy*, 101, 333–342.
- Tey, K. S., Mekhilef, S., & Member, S. (2014). Modified Incremental Conductance Algorithm for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions and Load Variation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(10), 5384–5392.
- Tey, K. S., Mekhilef, S., Seyedmahmoudian, M., Horan, B., Oo, A. T., & Stojcevski, A. (2018). Improved Differential Evolution-Based MPPT Algorithm Using SEPIC for PV Systems Under Partial Shading Conditions and Load Variation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(10), 4322–4333.
- Windarko, N. A., Nizar Habibi, M., Sumantri, B., Prasetyono, E., Efendi, M. Z., & Taufik. (2021). A New MPPT Algorithm for Photovoltaic Power Generation under Uniform and Partial Shading Conditions. *Energies*, 14(2), 483.
- Yang, L., Yunbo, Z., Shengzhu, L., & Hong, Z. (2017). Photovoltaic Array MPPT Based on Improved Variable Step Size Incremental Conductance Algorithm. *Proceedings of the 29th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2017*, (pp. 2347–2351).
- Yap, K. Y., Sarimuthu, C. R., & Lim, J. M. Y. (2020). Artificial Intelligence Based MPPT Techniques for Solar Power System: A review. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 8(6), 1043–1059.
- Zhu, W., Shang, L., Li, P., & Guo, H. (2018). Modified Hill Climbing MPPT Algorithm with Reduced Steady-State Oscillation and Improved Tracking Efficiency. *The Journal of Engineering*, 2018(17), 1878–1883.