

# DESAIN MPPT-IC UNTUK CHARGING BATTERY SEBAGAI SUPPLY LAMPU RUMAH TINGGAL MENGGUNAKAN STATIC TRANSFER SWITCH

Lucky Pradigta Setiya Raharja, Yahya Chusna Arif dan Dimas Kawulungan<sup>\*)</sup>

Program Studi Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

<sup>\*)</sup> E-mail: [dimaskawulungan21@gmail.com](mailto:dimaskawulungan21@gmail.com)

## Abstrak

Matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang dikonversi melalui panel surya. Panel surya dapat digunakan untuk keperluan rumah tinggal, seperti pada lampu penerangan. Dikarenakan panel surya tidak selalu menghasilkan listrik, maka sumber PLN masih digunakan sebagai *backup*. Dikarenakan terdapat 2 sumber, maka digunakanlah *Static Transfer Switch* (STS), dikarenakan STS mampu melakukan proses *switching* yang cepat. Sehingga penggunaan PLN dapat diminimalisir dengan adanya panel surya. Dengan beban yang digunakan pada jurnal ini, STS mampu meminimalisir penggunaan PLN hingga 100%, sehingga beban dapat menggunakan sumber dari panel surya secara penuh selama panel surya tidak mengalami kendala. Dan untuk mengoptimalkan kinerja dari panel surya, maka digunakanlah *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan metode *Incremental Conductance*. Hasil simulasi menunjukkan perbandingan antara MPPT metode IC dan P&O, dimana metode IC memiliki rata-rata akurasi daya sebesar 99,8% sedangkan metode P&O sebesar 99,65%. Dan untuk nilai osilasi MPPT metode IC memiliki nilai osilasi lebih kecil dibandingkan metode P&O. Hasil simulasi dari STS menunjukkan bahwa STS berhasil melakukan *switching* dari sumber utama ke sumber cadangan, ketika sumber utama mengalami gangguan, dan waktu *switching* terjadi dalam waktu yang cukup cepat yakni 0,24 ms.

**Kata kunci:** MPPT, Incremental Conductance, Static Transfer Switch

## Abstract

The sun can be used as a source of electrical energy which is converted via solar panels. Solar panels can be used for residential purposes, such as lighting. Because solar panels do not always produce electricity, the PLN source is still used as a backup. Because there are 2 sources, Static Transfer Switch (STS) is used, because STS is able to carry out a fast switching process. So the use of PLN can be minimized by having solar panels. With the load used in this journal, STS is able to minimize the use of PLN by up to 100%, so that the load can use the source from the solar panels fully as long as the solar panels do not experience problems. And to optimize the performance of the solar panels, Maximum Power Point Tracking (MPPT) with the Incremental Conductance method is used. The simulation results show a comparison between MPPT IC and P&O methods, where the IC method has an average power accuracy of 99.8% while the P&O method is 99.65%. And for the MPPT oscillation value, the IC method has a smaller oscillation value than the P&O method. The simulation results from STS show that STS succeeded in switching from the main source to the backup source, when the main source experienced interference, and the switching time occurred quite quickly, namely 0.24 ms.

**Keywords:** MPPT, Incremental Conductance, Static Transfer Switch

## 1. Pendahuluan

Energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok dan memegang peranan yang penting dalam kehidupan manusia [1]. Seperti di rumah tinggal, semua peralatan hampir membutuhkan energi listrik. Tetapi selama ini energi listrik masih banyak bergantung kepada energi fosil, sedangkan energi fosil semakin lama ketersediaannya semakin menurun [2]. Indonesia sendiri sangat kaya akan energi terbaharukan dengan potensi lebih dari 400.000

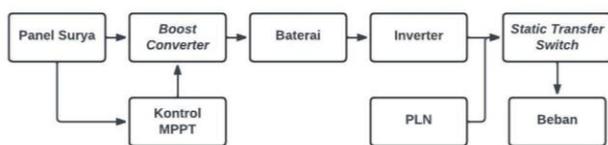
MW, dan 50% diantaranya adalah potensi dari energi surya. Namun kenyataannya pemanfaatan energi surya hanya sekitar 0,08% atau sekitar 150 MW saja [3]. Oleh karena itu, penting untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi listrik melalui media panel surya. Salah satu permasalahan yang muncul dari penggunaan panel surya adalah daya listrik yang dihasilkan selalu berubah terhadap kondisi cuaca. Oleh karena itu diperlukan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk mencapai daya keluaran maksimum [4][5].

Ada beberapa metode penggunaan MPPT, seperti *Perturb and Observe* (P&O), *Fuzzy Logic*, *Incremental Conductance* (IC) dan lainnya. Tetapi metode P&O dan IC lebih banyak digunakan, hal tersebut dikarenakan implementasi yang mudah dan biaya yang rendah [6]. Dari hasil yang didapat pada penelitian sebelumnya, metode IC memiliki performa yang lebih baik dari metode P&O, metode IC dapat menghasilkan daya yang lebih besar dari P&O [7]. Metode IC juga memiliki nilai osilasi yang lebih kecil daripada metode P&O, sehingga metode IC lebih baik untuk keamanan dan ketahanan baterai yang lama. Oleh karena itu, metode IC lebih cocok digunakan untuk skala rumah tinggal dikarenakan lebih mengutamakan ketahanan baterai yang lama [8].

Penggunaan sumber PLN masih dibutuhkan untuk mendukung kontinuitas listrik ke beban. Sehingga ketika panel surya tidak dapat menghasilkan listrik, maka beban masih bisa mendapatkan energi listrik melalui sumber PLN. Dikarenakan terdapat 2 sumber maka diperlukan komponen *transfer switch* untuk melakukan perpindahan sumber. Salah satu *transfer switch* yang memiliki kontinuitas yang tinggi saat terjadi saklar daya adalah *Static Transfer Switch* (STS). STS mampu melakukan proses *switching* dengan sangat cepat [9], sehingga beban tidak akan merasakan padam sesaat dan aman dari gangguan kualitas daya seperti gangguan *voltage sag* dan *voltage swell*.

## 2. Metode

Desain dari sistem yang dibuat terdiri dari panel surya, *boost converter*, baterai, inverter, *static transfer switch* dan juga beban berupa lampu rumah tinggal yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram

Panel surya digunakan sebagai sumber listrik utama, dimana sistem ini dilengkapi dengan metode MPPT-IC sehingga daya yang dihasilkan oleh panel surya dapat mencapai titik maksimum. Daya tersebut akan digunakan untuk men-*charging* baterai sehingga daya dari panel surya dapat disimpan. Dikarenakan beban yang digunakan adalah lampu rumah tinggal maka diperlukan sebuah inverter untuk merubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC. Sumber PLN masih digunakan sebagai *backup* ketika baterai dalam kondisi kosong dikarenakan panel surya tidak dapat menghasilkan listrik seperti cuaca mendung atau hujan, sehingga dengan adanya PLN beban masih bisa mendapatkan sumber listrik. Dikarenakan

terdapat 2 sumber listrik maka digunakan *static transfer switch* sebagai pengatur perpindahan sumber.

### 2.1. Panel Surya

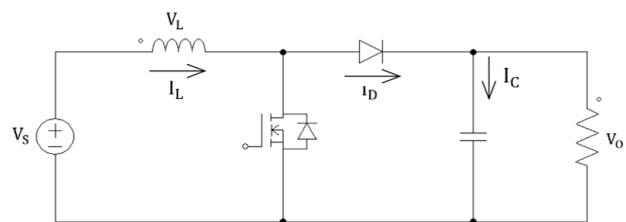
Modul panel surya yang digunakan adalah panel surya *monocrystalline* 100WP sebanyak 1 buah.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Nilai
Daya Maksimum	100 W
Tegangan Operasi Optimal ( $V_{mp}$ )	21,88 V
Arus Operasi Optimal ( $I_{mp}$ )	5,82 A
Tegangan Hubung Buka ( $V_{oc}$ )	18,2 V
Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ )	5,49 A

### 2.2. Boost Converter

*Boost converter* adalah salah satu jenis dari DC-DC *converter*. Konverter jenis *boost* ini berfungsi untuk menaikkan tegangan [10]. Rangkaian *boost converter* terdiri dari induktor (L), kapasitor (C), dan beban (R). Untuk rangkaian *boost converter* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian *Boost Converter*

*Boost converter* bekerja pada 2 mode, yakni saat mosfet OFF dan mosfet ON. Saat kondisi mosfet ON, tegangan yang ada pada induktor nilainya akan sama dengan tegangan masukan dan dioda dalam keadaan pra-tegangan mundur. Di kondisi ini, induktor akan menyimpan energi. Energi yang tersimpan ini akan digunakan untuk mensuplai ke beban.

$$V_L = V_s = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{dI_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$

$$dI_{L.on} = \frac{V_s D T}{L} \quad (1)$$

Saat kondisi mosfet OFF, dioda dalam keadaan pra-tegangan maju. Energi pada induktor yang telah tersimpan akan dialirkan melalui dioda untuk mengisi kapasitor dan mensuplai ke beban.

$$V_L = V_s - V_o$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\left(\frac{dI_L}{dt}\right) = \frac{V_s - V_o}{L}$$

$$dI_{L.off} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (2)$$

Karena arus pada induktor bernilai konstan, maka dari Persamaan 1 dan 2 didapatkan:

$$\frac{dI_{L,on}}{L} + \frac{dI_{L,off}}{L} = 0$$

$$\frac{V_s D T}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0$$

$$\frac{V_s}{V_o} \times D = (V_o - V_s) \times (1 - D)$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{(1-D)} \quad (3)$$

Tabel 2. Parameter Boost Converter

Parameter	Nilai
Tegangan Input Min	12 V
Tegangan Input Max	22 V
Tegangan Output	28,8 V
Arus Output	1,8 A
Frekuensi Switching	40 kHz
Induktor	210,43 uH
Kapasitor	182,18 uF

### 2.3. Metode Perturb and Observe (P&O)

Metode P&O adalah salah satu metode MPPT yang membutuhkan dua parameter yaitu tegangan dan arus dari panel surya. Dari dua parameter tersebut digunakan untuk menentukan nilai dari slope [11]. Dari tegangan dan arus maka akan didapatkan nilai daya dari panel surya yang ditunjukkan pada Persamaan 4.

$$P(t) = V(t) \cdot I(t) \quad (4)$$

Nilai yang harus dicari selanjutnya adalah nilai dari  $\Delta V$  dan  $\Delta P$ , untuk persamaan dari  $\Delta V$  dan  $\Delta P$  dapat dilihat pada Persamaan 5 dan 6.

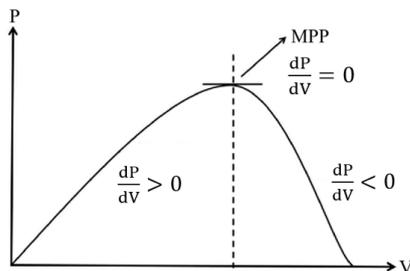
$$dV = V(t) - V(t-1) \quad (5)$$

$$dP = P(t) - P(t-1) \quad (6)$$

Setelah mendapatkan nilai dari  $\Delta V$  dan  $\Delta P$ . Selanjutnya mencari nilai slope. Untuk persamaan dari slope dapat dilihat pada Persamaan 7.

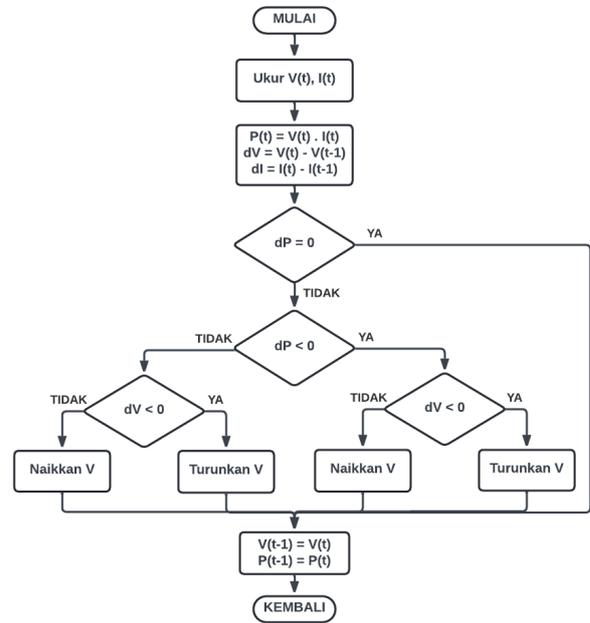
$$\text{Slope} = \frac{dP}{dV} \quad (7)$$

Metode P&O bekerja pada 3 titik yakni di sebelah kiri puncak  $dP/dV > 0$ , dipuncak kurva  $dP/dV = 0$  dan di sebelah kanan puncak  $dP/dV < 0$ . seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Titik Kerja Metode P&O pada Kurva P-V

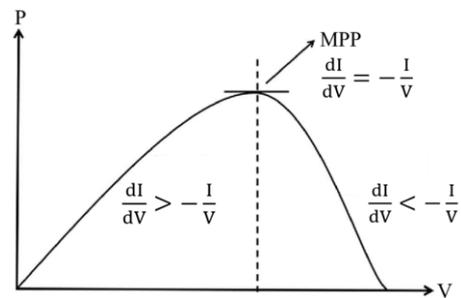
Metode ini akan memindahkan titik kerja kemiringan negatif maupun positif untuk selalu berada pada titik maksimum. Untuk flowchart dari metode P&O dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Metode Perturb and Observe

### 2.4. Metode Incremental Conductance (IC)

Metode IC juga sama seperti metode P&O, yakni membutuhkan nilai tegangan dan arus dari panel surya sebagai kontrolnya, yang membedakan dari metode P&O adalah metode IC tidak memerlukan nilai daya pada algoritmanya. Pada metode IC memiliki 3 titik kerja [12], yakni sebelah kiri puncak, sebelah kanan puncak dan pada posisi puncak. Metode ini akan memindahkan titik kerja agar selalu berada pada posisi puncak atau posisi MPP seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Titik Kerja Metode IC pada Kurva P-V

- Posisi di Sebelah Kiri Puncak

Pada posisi ini karakteristik perubahan daya dan tegangan pada panel surya dapat dituliskan dengan Persamaan 8.

$$\frac{dp}{dv} > 0 \quad (8)$$

Karena  $P = V.I$ , maka Persamaan 8 dapat dijabarkan menjadi Persamaan 9.

$$\begin{aligned} \frac{d(V.I)}{dv} &> 0 \\ \frac{V.dI + dV.I}{dv} &> 0 \\ V \frac{dI}{dv} + 1 &> 0 \\ \frac{dI}{dv} &> -\frac{I}{V} \end{aligned} \quad (9)$$

Untuk mencapai posisi puncak maka tegangan panel surya harus dinaikkan dengan cara menaikkan *duty cycle*.

- Posisi di Puncak Kurva

Pada posisi ini karakteristik perubahan daya dan tegangan pada panel surya dapat dituliskan dengan Persamaan 10.

$$\frac{dp}{dv} = 0 \quad (10)$$

Karena  $P = V.I$ , maka Persamaan 10 dapat dijabarkan menjadi Persamaan 11.

$$\begin{aligned} \frac{d(V.I)}{dv} &= 0 \\ \frac{V.dI + dV.I}{dv} &= 0 \\ V \frac{dI}{dv} + 1 &= 0 \\ \frac{dI}{dv} &= -\frac{I}{V} \end{aligned} \quad (11)$$

Untuk mempertahankan posisi puncak maka tegangan panel surya harus tetap dengan cara mempertahankan nilai *duty cycle*.

- Posisi di Sebelah Kanan Puncak

Pada posisi ini karakteristik perubahan daya dan tegangan pada panel surya dapat dituliskan dengan Persamaan 12.

$$\frac{dp}{dv} < 0 \quad (12)$$

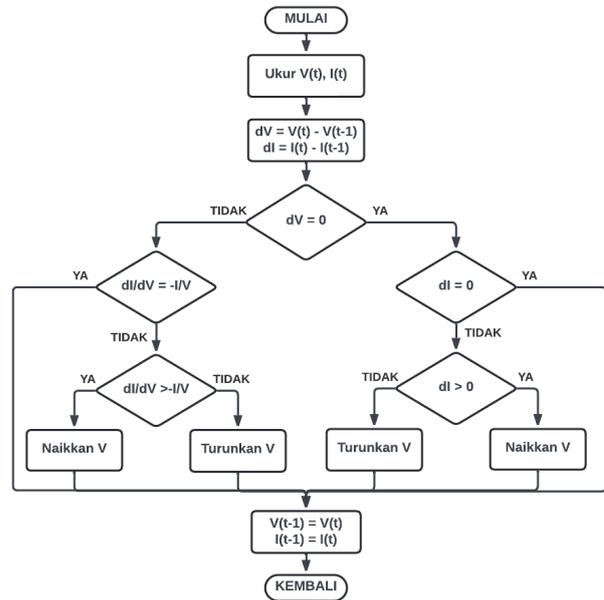
Karena  $P = V.I$ , maka Persamaan 12 dapat dijabarkan menjadi Persamaan 13.

$$\begin{aligned} \frac{d(V.I)}{dv} &< 0 \\ \frac{V.dI + dV.I}{dv} &< 0 \\ V \frac{dI}{dv} + 1 &< 0 \\ \frac{dI}{dv} &< -\frac{I}{V} \end{aligned} \quad (13)$$

Untuk mencapai posisi puncak maka tegangan panel surya harus diturunkan dengan cara menurunkan *duty cycle*.

Metode IC digunakan untuk mengatasi beberapa kelemahan yang ada dari metode P&O. Metode IC ini mencoba untuk menghasilkan nilai daya yang lebih besar

pada lingkungan dengan iradiasi yang berbeda [13]. Untuk *flowchart* dari metode IC dapat dilihat pada Gambar 6.

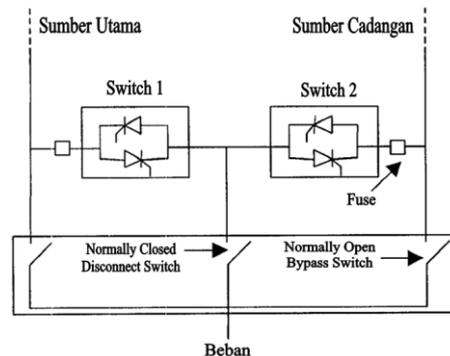


Gambar 6. Flowchart Metode Incremental Conductance

## 2.5. Static Transfer Switch (STS)

Static transfer switch adalah komponen yang berfungsi untuk melindungi perangkat listrik dari berbagai permasalahan kelistrikan [14]. STS dapat melakukan perpindahan sumber dengan cepat pada beban ke sumber daya AC alternatif ketika sumber utama mengalami gangguan, seperti tidak ada tegangan maupun kondisi *under/over voltage*.

STS adalah perangkat yang secara otomatis memilih sumber listrik yang aman untuk beban dari dua sumber listrik. Berbeda dengan *automatic transfer switch (ATS)*, STS menyediakan transfer beban 20 kali lebih cepat (biasanya 1/4 siklus), yang menjamin pengoperasian tanpa gangguan bahkan pada peralatan elektronik yang paling sensitif sekalipun.

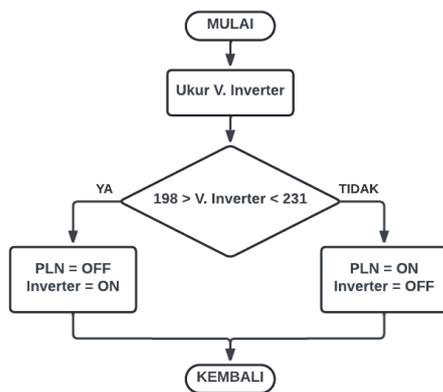


Gambar 7. Struktur Static Transfer Switch

STS menggunakan triac sebagai komponen *switching* yang didalamnya terdiri dari 2 buah SCR. SCR ini dihubungkan secara antiparalel [15]. STS terdiri dari beberapa komponen utama, seperti triac dan juga driver triac seperti driver moc3041 yang digunakan sebagai penyulutan triac.

Dua sumber menuju ke STS. Logika dari mikrokontroler akan mengatur sumber yang digunakan ke beban. Ketika salah satu sumber dipilih untuk mensuplai ke beban, maka logika kontrol akan menyalakan triac pada jalur tersebut sehingga daya akan mengalir dari sumber yang dipilih menuju ke beban.

Pada jurnal ini, sumber utama yakni baterai yang selanjutnya dihubungkan ke inverter, dan sumber cadangan yakni PLN. Dua sumber tersebut akan dihubungkan dengan STS sebelum masuk ke beban. Untuk parameter *switching* dari STS dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Parameter *Switching* pada STS

Dari Gambar 8 dapat dijelaskan bahwa kontrol yang mengatur perpindahan sumber listrik ke beban bergantung pada tegangan dari inverter, sehingga STS akan selalu mengecek tegangan dari inverter. Ketika tegangan inverter berada pada nilai 198 V sampai 231 V, maka beban akan menggunakan sumber listrik dari inverter. Sebaliknya, jika tegangan inverter tidak diantara 198 V sampai 231 V, maka beban akan menggunakan sumber listrik dari PLN.

Untuk pemilihan tegangan 198 V – 231 V mengacu pada standart pada IEEE 1159-1995. Pada standart tersebut tegangan yang diijinkan adalah -10% hingga +5% dari tegangan nominal. Tegangan nominal adalah 220 Volt, sehingga batas tegangan yang diijinkan adalah 198 Volt hingga 231 Volt.

### 3. Hasil dan Analisa

Untuk beban yang digunakan adalah lampu sebesar 8 Watt sebanyak 2 buah, dan untuk lama penggunaan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Kebutuhan Daya

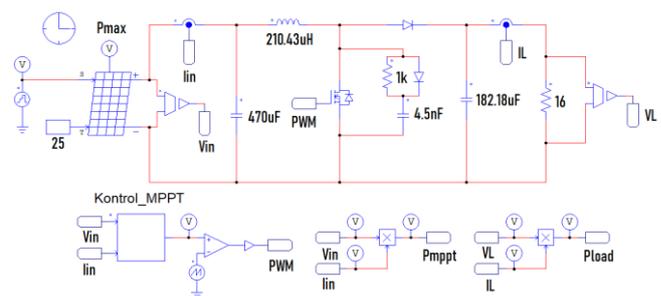
Beban	Jam Penggunaan	Total Waktu	Daya
Lampu 8 Watt	18.00 - 06.00	12 Jam	96 Wh
Lampu 8 Watt	18.00 - 06.00	12 Jam	96 Wh
Total Kebutuhan Daya Dalam 1 Hari			192 Wh + 10% = 211,2 Wh

Pada 1 hari beban membutuhkan daya sebesar 211,2 Wh. Beban hanya digunakan pada malam hari untuk penerangan, dan pada pagi hari panel surya akan mengecas baterai selama 4-5 jam sampai baterai terisi penuh. Dan ketika baterai penuh, baterai tersebut akan digunakan untuk menyuplai beban.

Baterai yang digunakan sebesar 24V/9Ah, sehingga total Wh yang dapat dihasilkan oleh baterai tersebut adalah :  
 $= 24V \times 9Ah$   
 $= 216 Wh$

Sehingga baterai yang digunakan sebesar 24V/9Ah dan dapat menghasilkan 216 Wh dapat menyuplai kebutuhan beban dalam 1 hari yang memiliki Wh dibawah kapasitas baterai yakni 211,2 Wh. Oleh karena itu, selama panel surya dapat menghasilkan listrik untuk mengecas baterai, maka beban akan selalu menggunakan sumber dari panel surya, sehingga sumber PLN dapat diminimalisir hingga hampir 100%.

Untuk simulasi yang dilakukan menggunakan *software* PSIM. Untuk simulasi dibagi menjadi 2 bagian, yakni simulasi bagian MPPT dan juga simulasi untuk bagian perpindahan sumber menggunakan *static transfer switch* (STS). Untuk simulasi rangkaian MPPT dapat dilihat pada Gambar 9 dan simulasi rangkaian STS dapat dilihat pada Gambar 15.



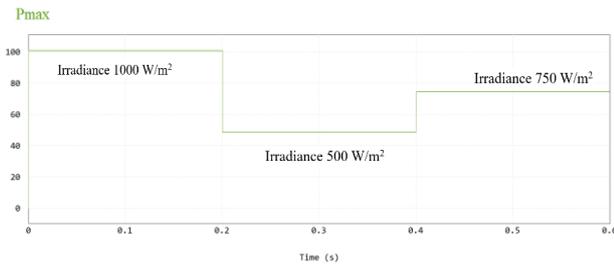
Gambar 9. Simulasi Rangkaian MPPT

Gambar 9 menjelaskan bahwa MPPT dibuat dalam bentuk program dan mendapatkan nilai masukan berupa tegangan ( $V_p$ ) dan arus ( $I_p$ ) yang dihasilkan oleh PV. Keluaran dari algoritma MPPT adalah duty cycle yang nantinya akan masuk ke Mosfet pada *boost converter*. Dan keluaran dari *boost converter* ini akan masuk ke beban baterai.

Untuk simulasi perbandingan metode MPPT dilakukan dengan nilai *irradiance* yang berbeda, hal tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah kedua metode dapat mencapai daya maksimal atau tidak dalam kondisi *irradiance* yang berbeda. *Setting* perubahan *irradiance* dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 10.

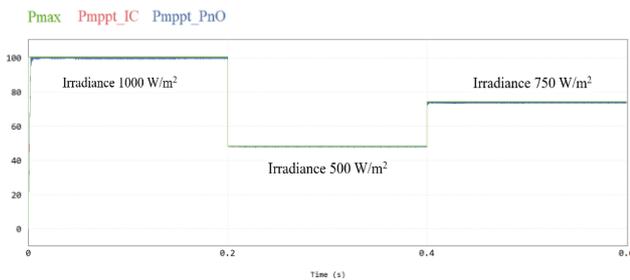
**Tabel 4. Perubahan Irradiance**

Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	Waktu (s)
1000	0 – 0.2
500	0.2 – 0.4
750	0.4 – 0.6



**Gambar 10. Perubahan Irradiance**

Untuk mengetahui performa dari metode P&O dan IC akan dilakukan perbandingan di antara kedua metode tersebut. Hasil perbandingan dari kedua metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



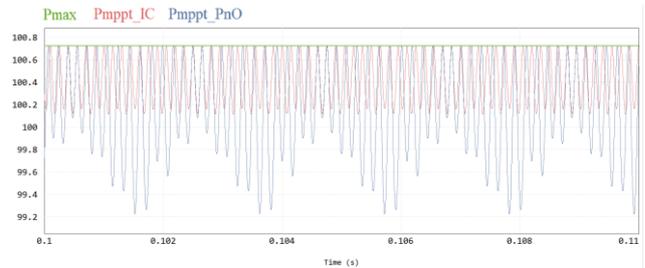
**Gambar 11. Hasil Simulasi Perbandingan MPPT IC dan MPPT P&O**

Pada Gambar 11 garis yang berwarna merah adalah hasil dari metode IC dan warna biru adalah hasil dari metode P&O. Terlihat kedua metode dapat mencapai nilai daya maksimal di masing-masing *irradiance*. Untuk hasil daya yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Perbandingan Hasil Daya Metode IC dan P&O**

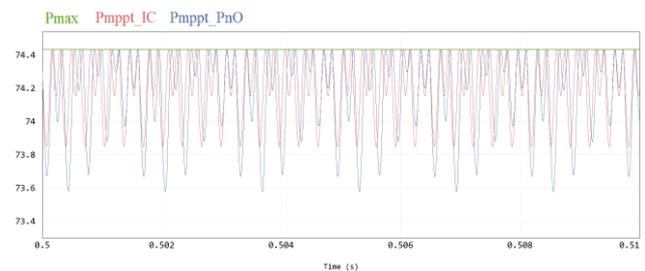
Iradiasi	Daya Max PV	Metode	Daya	Akurasi
1000	100 W	IC	99,862 W	99,86 %
		P&O	99,684 W	99,68 %
750	74,432 W	IC	74,222 W	99,71 %
		P&O	74,159 W	99,63 %
500	48,524 W	IC	48,445 W	99,83 %
		P&O	48,363 W	99,66 %
Rata-Rata Akurasi Metode IC			99,8 %	
Rata-Rata Akurasi Metode P&O			99,65 %	

Dari Tabel 4 terlihat bahwa kedua metode sudah mendekati nilai daya yang dapat dihasilkan oleh PV pada masing-masing *irradiance*. Dan terlihat dari kedua metode, metode IC dapat menghasilkan daya yang lebih besar dari metode P&O. Dan selanjutnya untuk mengetahui perbandingan osilasi, akan dilakukan zoom pada masing-masing *irradiance* dari hasil simulasi pada Gambar 11.



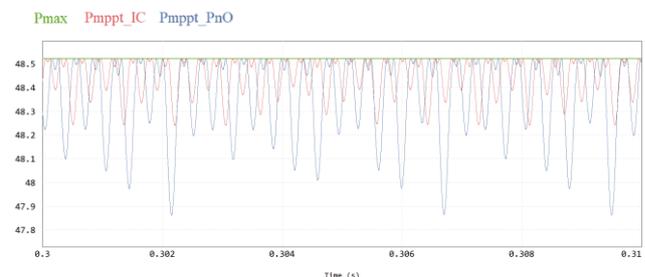
**Gambar 12. Hasil Zoom Bentuk Gelombang Saat Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>**

Saat *irradiance* 1000 W/m<sup>2</sup> terlihat bahwa osilasi metode P&O lebih besar dari metode IC. Metode IC nilai terendah ada disekitaran 100,2 W, sedangkan pada metode P&O nilai terendah ada di sekitaran 99,2 W.



**Gambar 13. Hasil Zoom Bentuk Gelombang Saat Irradiance 750 W/m<sup>2</sup>**

Saat *irradiance* 750 W/m<sup>2</sup> terlihat bahwa osilasi metode P&O juga lebih besar dari metode IC. Metode IC nilai terendah ada disekitaran 73,8 W, sedangkan pada metode P&O nilai terendah ada di sekitaran 73,6 W.

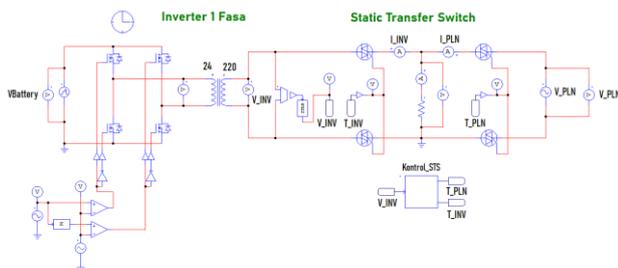


**Gambar 14. Hasil Zoom Bentuk Gelombang Saat Irradiance 500 W/m<sup>2</sup>**

Saat *irradiance* 500 W/m<sup>2</sup> juga terlihat bahwa osilasi metode P&O lebih besar dari metode IC. Metode IC nilai

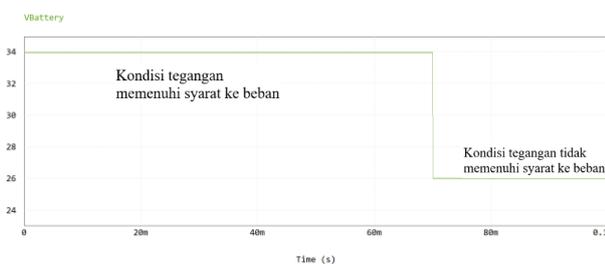
terendah ada disekitaran 48,2 W, sedangkan pada metode P&O nilai terendah ada di sekitaran 47,6 W.

Daya yang telah dihasilkan oleh MPPT tersebut akan disimpan ke dalam baterai, dan dari baterai tersebut akan dimasukan ke dalam *inverter* untuk merubah dari sumber DC ke AC. Untuk simulasi dari *static transfer switch* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Simulasi Rangkaian *Static Transfer Switch*

Di STS terdapat dua sumber, yakni sumber dari baterai yang dkonversi ke AC menggunakan inverter dan juga sumber dari PLN. Dikarenakan STS akan berpindah ke sumber cadangan (PLN) saat tegangan pada sumber utama (*inverter*) tidak diantara 198-231 V sesuai parameter *switching* pada Gambar 8, maka pada simulasi dilakukan setting nilai tegangan pada battery. Baterai disetting dalam dua kondisi yakni saat tegangan normal dan tegangan dibawah normal agar tegangan inverter tidak diantara 198-231V, sehingga memicu STS untuk melakukan *switch* ke sumber cadangan.

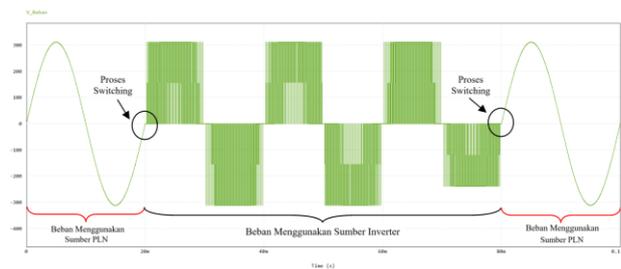


Gambar 16. *Setting* pada Tegangan Baterai

Untuk mengetahui proses *switching* dari STS, maka akan dilihat pada bagian tegangan pada beban. Untuk bentuk gelombang dari tegangan yang ada di beban dapat dilihat pada Gambar 17.

Pada Gambar 17 bagian yang dilingkari hitam adalah proses *switching* dari satu sumber ke sumber lainnya. Saat kondisi baterai tidak memenuhi syarat ke beban, STS berhasil melakukan *switching* ke sumber cadangan PLN. Pada waktu di 80ms, terlihat pada Gambar 17, STS berhasil melakukan *switching* dari sumber inverter ke sumber PLN, dan untuk waktu *switching* terjadi selama 0,24 ms. Hal tersebut mengindikasikan bahwa STS

berhasil melakukan *switching* dengan waktu yang cukup cepat.



Gambar 17. Proses *Switching* dari Sumber Utama ke Sumber Cadangan

#### 4. Kesimpulan

MPPT metode *incremental conductance* memiliki performa yang lebih baik daripada metode *perturb and observe*. Metode IC dapat menghasilkan daya yang lebih besar daripada metode P&O. Dimana metode IC memiliki rata-rata akurasi daya sebesar 99,8% sedangkan metode P&O sebesar 99,65%. Untuk osilasi, metode IC memiliki osilasi yang lebih kecil dibandingkan metode P&O, sehingga metode IC lebih unggul dari metode P&O baik dari segi daya yang dihasilkan maupun osilasinya. Dan untuk *static transfer switch* mampu melakukan perpindahan sumber dari sumber utama ke sumber cadangan dengan cepat ketika sumber utama mengalami masalah. Pada simulasi didapatkan waktu *switching* selama 0,24 ms. Sehingga dengan adanya MPPT-IC akan memastikan panel surya menghasilkan daya yang maksimal, dan daya tersebut akan digunakan untuk mengisi baterai. Baterai akan digunakan untuk menyalakan lampu rumah tinggal. Dan jika baterai tidak mencukupi, *static transfer switch* secara otomatis beralih ke sumber cadangan PLN untuk menjaga lampu tetap menyala.

#### Referensi

- [1]. Ridwan, W. Ramadhan, A. Kurniawan, W. Lestari, and D. Setiawan, "Pemanfaatan Sinar Matahari Sebagai Energi Alternatif Untuk Kebutuhan Energi Listrik," *Semin. Nas. Karya Ilm. Multidisiplin*, vol. 1, no. 1, pp. 168–176, 2021.
- [2]. B. Ayu and S. Putri, "Pendekatan Peran Hukum dalam Mendorong Transisi Energi Terbarukan," vol. 1, no. 3, pp. 230–235, 2024.
- [3]. Direktorat Jenderal EBTKE, "Direktorat Jenderal EBTKE - Kementerian ESDM," *Staran Pers.* pp. 1–4, 2023.
- [4]. F. Hasan, . M., and Mm. A. Faturrahman, "Optimasi PV Array Menggunakan Maximum Power Point Tracking dengan Algoritma FireFly dan Partial Swarm Optimization kondisi Normal dan Partial Shadding," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2024, doi: 10.47233/jsit.v4i1.1421.

- [5]. M. Suyanto, S. Priyambodo, P. E.P, and A. Purnama Aji, "Optimalisasi Pengisian Accu Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Solar Charge Controller (MPPT)," *J. Teknol.*, vol. 15, no. 1, pp. 22–29, 2022, doi: 10.34151/jurtek.v15i1.3929.
- [6]. A. Lubis, H. Hasan, I. D. Sara, J. Teknik, and U. S. Kuala, "Desain Maximum Power Point Tracking ( MPPT ) pada Sistem Fotovoltaik Menggunakan Algoritma Incremental Conductance," *KITEKTRO J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [7]. E. S. Wirateruna, "Analisa Perbandingan Implementasi MPPT PV Berbasis Algoritma P&O dan IC dengan Arduino Uno," *JE-Unisla*, vol. 7, no. 1, p. 14, 2022, doi: 10.30736/je-unisla.v7i1.769.
- [8]. M. I. Fadriantama and R. M. S. Adinandra, "Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme Perturb And Observe (P&O) Dan Incremental Conductance (IC) Pada Sistem Kendali Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Sistem Photovoltaic (PV) Paralel," *J. Chem. Inf. Model.*, no. 1c, pp. 1–6, 2018.
- [9]. A. H. Okilly, N. Kim, J. Lee, Y. Kang, and J. Baek, "Development of a Smart Static Transfer Switch Based on a Triac Semiconductor for AC Power Switching Control," *Energies*, vol. 16, no. 1, 2023, doi: 10.3390/en16010526.
- [10]. A. Fathurachman, A. Najmurokhman, and Kusnandar, "Perancangan Boost Converter Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Batara Pilar Tek.*, p. 5, 2018.
- [11]. F. A. Harrag, S. A. Titraoui, and T. H. Bahri, "P&O or IC for PV pumping system: What MPPT algorithm to improve performances?," *2017 6th Int. Conf. Syst. Control. ICSC 2017*, pp. 220–225, 2017, doi: 10.1109/ICoSC.2017.7958724.
- [12]. M. Ahmad, A. Numan, and D. Mahmood, "A Comparative Study of Perturb and Observe (P&O) and Incremental Conductance (INC) PV MPPT Techniques at Different Radiation and Temperature Conditions," *Eng. Technol. J.*, vol. 40, no. 2, pp. 376–385, 2022, doi: 10.30684/etj.v40i2.2189.
- [13]. R. I. Putri, S. Wibowo, and M. Rifa'i, "Maximum power point tracking for photovoltaic using incremental conductance method," *Energy Procedia*, vol. 68, pp. 22–30, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.228.
- [14]. A. Sannino, "Static transfer switch: Analysis of switching conditions and actual transfer time," *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 1, no. WINTER MEETING, pp. 120–125, 2001, doi: 10.1109/pesw.2001.917013.
- [15]. A. Anil Yamin Fajrus Sodik, R. Rakhmawati, and Y. Chusna Arif, "Optimizing the Use of MPPT in PLTS for Hybrid Systems by Using STS as a Transfer Switch," *JEEMECS (Journal Electr. Eng. Mechatron. Comput. Sci.)*, vol. 4, no. 2, pp. 37–44, 2021, doi: 10.26905/jeemecs.v4i2.6004.